

“Lineamientos conceptuales y metodológicos para la definición de una subregionalización funcional en Colombia”

Departamento Nacional de Planeación-DNP

Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural-RIMISP

Alfredo Bateman

Angela María Penagos

Juan Mauricio Ramírez

Tomás Martín

Yadira Díaz

Santiago Satizábal

Agosto de 2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN | www.dnp.gov.co
Calle 26 no. 13 -19 | Bogotá | + (57-1) 3 81 5000

RIMISP en América Latina | www.RIMISP.org

CHILE: Huelén 10, 6to Piso, Providencia | Santiago | + (56 2) 2236 4557

COLOMBIA: Carrera 9 No 72-61 Oficina 303. Bogotá. | + (57-1) 2073 850

ECUADOR: Pasaje El Jardín No. 171 y Av. 6 de Diciembre, Edificio Century Plaza II, Piso 3, Oficina 7 | Quito | + (593 2) 5006 792

MÉXICO: Tlaxcala 173, Hipódromo, Delegación Cuauhtémoc, C.P. | Ciudad de México | + (52 55) 5096 6592 | + (52-55) 5086 8134

ÍNDICE

Contenido

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 4 |
| II. MARCO CONCEPTUAL | 7 |
| A. La escala regional en los países de la OECD | 8 |
| B. La definición e identificación de subregiones | 11 |
| C. Subregionalización y funcionalidad territorial | 15 |
| 1. Polos o nodos dinamizadores | 15 |
| 2. Territorios funcionales..... | 17 |
| 3. Otras funcionalidades territoriales..... | 20 |
| III. MARCO METODOLÓGICO | 23 |
| A. La familia de los modelos p-regiones para agregación espacial | 23 |
| B. El modelo de subregionalización para Colombia | 26 |
| C. Cómo funciona el modelo: ejemplo representativo | 37 |
| IV. RESULTADOS INICIALES DEL MODELO PARA COLOMBIA | 42 |
| V. BIBLIOGRAFÍA | 61 |
| | 62 |

El Departamento Nacional de Planeación (DNP), desde la Dirección de Descentralización y Desarrollo Regional se ha planteado, con miras a la elaboración del insumos para la construcción del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022, incorporar, en el marco de las buenas prácticas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), una visión regional y dentro de ella, la identificación de **subregiones** a partir de la funcionalidad del territorio, que permita una mejor focalización y priorización de las inversiones territoriales, el diseño de políticas públicas adecuadas a la realidad regional y contribuir a un modelo de gestión y fortalecimiento institucional de los territorios.

Este proyecto se construye sobre esfuerzos previos del DNP para abordar el análisis del territorio desde diferentes perspectivas como la identificación del Sistema de Ciudades dentro de los trabajos de la Misión para el Fortalecimiento del Sistema de Ciudades, las categorías de ruralidad de la Misión de Transformación del Campo, la identificación de territorios funcionales en la Dirección de Desarrollo Rural Sostenible (DDRS), y los propios esfuerzos de subregionalización de los últimos Planes de Desarrollo, Prosperidad para Todos (2010-2014) y Todos por un solo País (2014-2018).

El énfasis del ejercicio de subregionalización que se desarrolla en este documento está en la identificación de las relaciones funcionales (sociales, económicas y ambientales) que van más allá de las interacciones en mercados laborales compartidos, y que permiten agrupar municipios que pueden diferir por sus características, pero que comparten diversas funcionalidades. El aprovechamiento de dichas funcionalidades abre un campo potencial para la aplicación de políticas públicas con mayor impacto para la transformación territorial y el mejoramiento de las condiciones de vida de sus pobladores.

Así mismo, el ejercicio permitiría generar y estructurar una base sólida de criterios técnicos con el objetivo de identificar interdependencias y dinámicas territoriales para promover la asociatividad territorial, así como la coordinación entre municipios, departamentos y entre los diferentes niveles de gobierno, con el fin de mejorar la planificación territorial, la ejecución de políticas públicas del desarrollo y la inversión en proyectos de impacto regional que maximicen los efectos territoriales y potencien los *spillovers* espaciales.

El proceso de subregionalización contribuirá a una mejor articulación entre los niveles de gobierno, y entre los sectores de la administración, y permitirá que los procesos de planificación sean más eficaces en la reducción de disparidades regionales, procurando un desarrollo regional y un sistema urbano-regional más equilibrado, aprovechando los vínculos urbano – rurales cuando estén presentes para la reducción de las brechas urbano – rurales e intra-territoriales.

El diseño y aplicación de una metodología para la subregionalización del país se aborda a partir de desarrollos recientes de la denominada familia de modelos P-Regions (Duque,

Church, Middleton, 2011, Duque, Anselin, Rey, 2012; Li, Church, Goodchild, 2014; Kim, Chun, Kim, 2015). Este ejercicio se complementa con: (i) una caracterización de tipologías de subregiones, (ii) la identificación de un portafolio de inversiones por tipologías y (iii) la construcción de un ejercicio de evaluación ex ante del impacto de dichas inversiones en el territorio.

El producto de este trabajo constituirá una herramienta útil para avanzar en la reducción del rezago productivo, social e institucional, y el cierre de las brechas socioeconómicas que han afectado a distintos territorios, especialmente aquellos más afectados por el conflicto armado y aquellos que no se han podido integrar en trayectorias de crecimiento inclusivo.

Uno de los beneficios que resulta de un proceso de subregionalización y de una evaluación ex ante de un portafolio de intervenciones públicas territoriales, es que el país podrá contar con un análisis de nivel territorial para la definición de políticas públicas diferenciadas sobre los territorios a partir de sus relaciones funcionales, de tal manera que el impacto de las mismas sea efectivo en el corto, mediano y largo plazo. Así mismo, se contará con una herramienta robusta que facilite la toma de decisiones y oriente el presupuesto para conseguir resultados más eficaces en función de los objetivos de política y la alineación de prioridades y presupuestos entre los diferentes niveles de Gobierno.

Adicionalmente, ante la vinculación formal de Colombia a la OECD, esta organización ha establecido para todos sus países miembros dos niveles territoriales, TL2 y TL3, con el fin de facilitar la comparación estadística y mejorar la implementación de políticas regionales¹. La OECD define al TL2 como macrorregiones y al TL3 como microrregiones, siendo estas últimas de mayor escala al nivel municipal (agrupaciones de municipios). En Colombia el nivel TL2 puede equipararse a la escala departamental, pero se carece del nivel TL3 al que contribuiría la definición de las subregiones funcionales que se plantean en este proyecto.

La identificación de estas subregiones permitiría, adicionalmente, abordar muchos de los principales desafíos de desarrollo territorial que enfrenta el país, como son:

1. Cerrar un conjunto de brechas sociales, económicas e institucionales que explican la desigualdad territorial. Ello implica contar con herramientas e instrumentos que permitan optimizar la localización de la inversión territorial para que responda a la realidad de las regiones y tenga los mayores impactos posibles.
2. Profundizar la visión regional del Plan Nacional de Desarrollo y por lo tanto contar con herramientas que faciliten que las propuestas del PND respondan a la realidad territorial y que se puedan anticipar debidamente los efectos de estas políticas.

¹ Ver “Territorial Grids of OECD Member Countries”, OCDE, <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/42392313.pdf>

3. Aprovechar los efectos que los vínculos territoriales generan sobre las inversiones realizadas en el territorio, de manera que se reconozca que los resultados de las intervenciones son más efectivos si buscan generar vínculos entre territorios que potencien el cierre de brechas y el desarrollo económico.

4. Contar con una herramienta que además de sub-regionalizar funcionalmente, pueda orientar la efectividad de las decisiones de política en el marco del proceso de construcción y definición participativa de acciones para la implementación de los Acuerdos de la Habana y en general las intervenciones en los territorios más rezagados y aislados

A través de esta orientación, se avanza significativamente en la consolidación de una perspectiva del desarrollo que involucra decididamente una estructura territorial, lo que significa no solo reconocer las diferencias territoriales y elaborar análisis particulares, sino definir estrategias (lineamientos) y cursos de acción (objetivos y metas) para cada una de las regiones y subregiones identificadas, con base en elementos comunes como son las relaciones funcionales ejes articuladores compartidos del desarrollo regional.

El Gobierno Nacional ha reconocido que si bien el alcance del “enfoque y estructura territorial” fue un avance importante frente a anteriores planteamientos, es necesario profundizar esta línea de trabajo para lograr introducir cambios sustantivos no solo en la planeación, sino en la programación y ejecución del Presupuesto General de la Nación, así como de los presupuestos de las entidades territoriales, para concretar este enfoque junto con el de orientación hacia resultados y el de cierre de brechas regionales.

Bajo las consideraciones anteriores, este proyecto provee aportes en cuatro aspectos centrales:

- ❖ Contar con herramientas de regionalización coherente y funcional para el próximo Plan Nacional de Desarrollo que permita cerrar las brechas territoriales y la facilite la integración y los vínculos urbano-rurales.
- ❖ Definir funcionalmente el nivel territorial TL3 con el fin de facilitar la comparación estadística y mejorar la implementación de políticas regionales en el marco del ingreso a la OCDE.
- ❖ Modelar los impactos de la inversión en las subregiones identificadas en términos de los resultados de desarrollo (desarrollo económico y superación de la pobreza multidimensional) y lograr focalizar efectivamente la inversión territorial en el Presupuesto General de la Nación

-PGN, Sistema General de Regalías - SGR y Sistema General de Participaciones - SGP que permita avanzar en una convergencia de mínimos sociales².

❖ Desarrollar insumos para establecer esquemas asociativos funcionales e identificar modelos de acción territorial para mejorar la articulación entre actores.

Con base a estas consideraciones el proyecto desarrollará los siguientes productos:

1. Metodología para la identificación de subregiones funcionales
2. Tipología de subregiones
3. Caracterización por tipología y portafolio de políticas públicas e inversiones por tipología
4. Evaluación ex ante de portafolios de intervenciones territoriales

El presente documento presenta el marco conceptual y metodológico propuesto para la subregionalización, a partir del cual se realizará el ejercicio empírico. En particular presenta los elementos conceptuales básicos que orientan la propuesta de subregionalización funcional de Colombia. Se describen los aspectos concernientes a la definición del propósito de la escala territorial de la subregión y las formas de sub-regionalizar, el enfoque adoptado para la subregionalización a partir de las relaciones funcionales de los territorios, y la forma en que se entenderán y capturarán dichas relaciones funcionales a partir de una tipología propuesta de relaciones y flujos funcionales.

II. MARCO CONCEPTUAL

El reconocimiento de la heterogeneidad territorial en el diseño e implementación de políticas públicas es un elemento esencial para su efectividad. Las políticas públicas no deben ser ciegas a las diferencias territoriales, más aún si se reconoce que esta heterogeneidad trae aparejada la existencia de regiones sistemáticamente rezagadas. Esto, porque las políticas “espacialmente ciegas” en su diseño rara vez son “espacialmente neutras” en sus resultados (McCann y Rodríguez-Pose 2011), por lo que frecuentemente terminan ampliando –las desigualdades territoriales (Duranton et al., 2004). El desafío de los hacedores de política está en diseñar políticas e instrumentos que reconozcan estas diferencias de forma que los resultados sean positivos para los habitantes y logren revertir aquellas condiciones que mantienen a ciertos territorios en situación de rezago sistemático.

Avanzar en el reconocimiento de la heterogeneidad territorial dentro del diseño e implementación de las políticas públicas requiere contar con una unidad de análisis de orden espacial que sea la base para los procesos de discusión, intervención y evaluación de las

² Esto quiere decir donde hay amplias divergencias en la población en términos de educación, salud, vivienda, acceso a bienes y servicios, etc.

políticas y los instrumentos. Es aquí donde la escala regional y subregional permiten adaptar mejor los instrumentos y lograr una mejor articulación de los niveles de gobierno que intervienen en cada uno de los sectores, así como con los actores privados y los beneficiarios de estas políticas (Yuill et al., 2008).

Lograr una mayor cohesión territorial requiere de políticas más centradas en las regiones que aboguen por un aprovechamiento de su potencial a través de una mayor capacidad para generar empleos de calidad y de avanzar en la igualdad de oportunidades para los individuos que habitan esos territorios (Banco Mundial, 2018).

El logro de un desarrollo más equilibrado y con menores rezagos territoriales requiere aprovechar el rol de las pequeñas y medianas ciudades como fuentes de productividad y de acumulación de capital humano (Banco Mundial 2018, Christiaensen and Shankar, 2016, UN Habitat, 2018). Es decir, estas ciudades se pueden convertir en nodos dinamizadores y replicadores de trayectorias positivas que favorezcan el crecimiento inclusivo de estos territorios rezagados. Estas pequeñas y medianas ciudades pueden articular territorialmente los espacios en los que hay una fuerte economía rural-urbana e interdependencias sociales (Tacoli, 1998, mencionado en Berdegué, 2014), convirtiéndose en ejes dinamizadores claves del desarrollo territorial.

A. La escala regional en los países de la OECD

En los países de la OECD la escala regional es un referente común, así como la aplicación de políticas regionales que se inician desde los años 50 y 60 con el objetivo de lograr una mayor equidad y desarrollo equilibrado³. Lo que se ha venido modificando en las políticas de desarrollo regional de la OECD son los instrumentos para redistribuir los beneficios del desarrollo, que han pasado desde mecanismos de transferencias e inversiones en los territorios menos desarrollados, pasando por políticas de subsidios e incentivos, hasta políticas de mejora de la competitividad regional.

Las políticas regionales en los países de la OCDE han pasado a convertirse en un elemento fundamental y un complemento central de las políticas económicas y estructurales a nivel nacional. Ese cambio implica nuevos objetivos, una nueva gobernabilidad y nuevos instrumentos de política. La Tabla 1 resume el cambio de paradigma presentado en los últimos años y que ayuda a identificar el alcance de las políticas regionales en el mundo de hoy.

Tabla 1 *Cambio de Paradigma de la OCDE*

| | Viejo paradigma | Nuevo paradigma |
|--|---|---|
| Reconocimiento del problema | Disparidades regionales en ingresos, inventario de infraestructura y empleo | Falta de competitividad regional, potencial regional subutilizado |
| Objetivos | Equidad a través del desarrollo regional equilibrado | Competitividad y equidad |
| Marco de política general | Compensar temporalmente las desventajas de ubicación de las regiones rezagadas, respondiendo a los shocks. (por ejemplo, declive industrial) (Reactivo a los problemas) | Atrapando el potencial regional subutilizado a través de la programación regional (proactiva para el potencial) |
| - Cobertura temática | Enfoque sectorial con un conjunto limitado de sectores | Proyectos de desarrollo integrales e integrales con una cobertura de área de política más amplia |
| - Orientación espacial | Dirigido a regiones rezagadas | Enfoque de toda la región |
| - Unidad de intervención política | Áreas administrativas | Áreas funcionales |
| - Dimensión temporal | Corto plazo | Largo plazo |
| - Abordaje | Un enfoque único para todos | Enfoque específico del contexto (enfoque basado en el lugar) |
| - Enfoque | Inversiones y transferencias exógenas | Conocimiento y activos locales endógenos |
| Instrumentos | Subsidios y ayudas estatales (a menudo a empresas individuales) | Inversión mixta para capital blando y duro (entorno empresarial, mercado de trabajo, infraestructura) |
| Actores | Gobierno central | Diferentes niveles de gobierno, diversos actores (públicos, privados, ONG) |

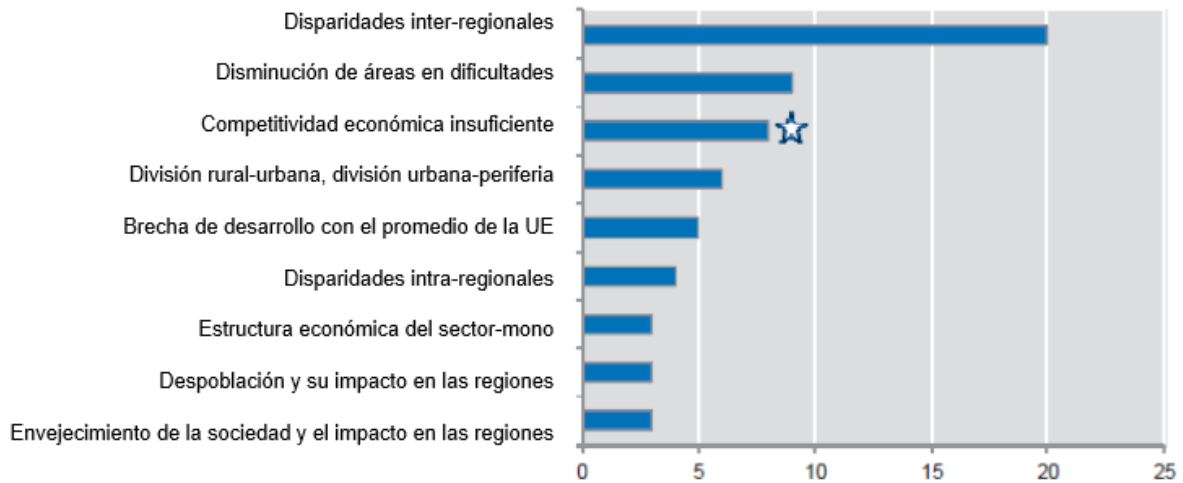
Fuente: OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.

De la misma manera, la preocupación por las disparidades regionales viene hoy acompañada por otro conjunto de problemas que para los países de la OCDE justifican y dan el alcance a las políticas regionales y a la importancia de este nivel de gobierno (Ver

Figura 1 Principales problemas regionales de los países de la OCDE.
OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.

).

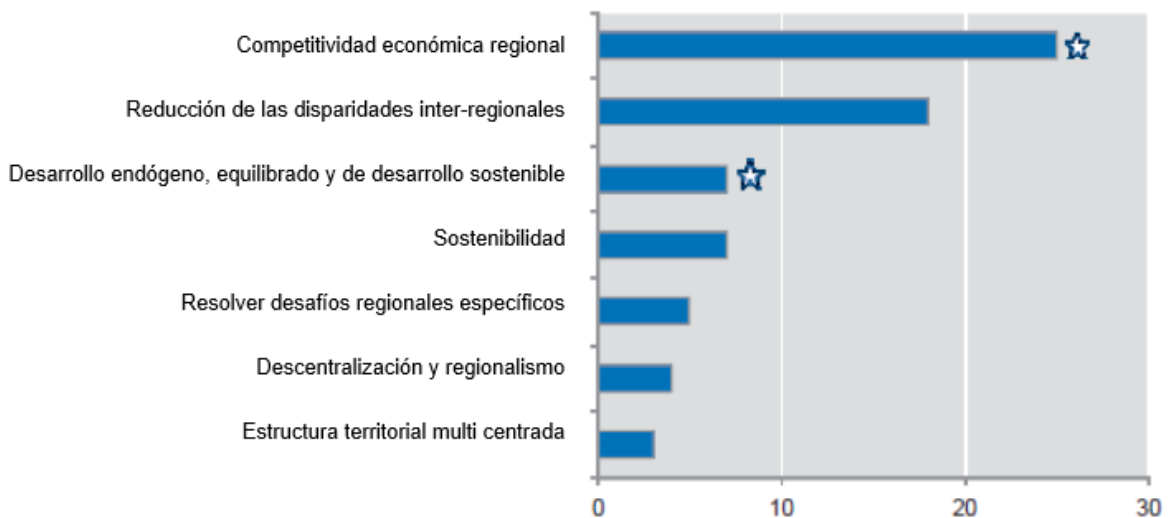
Figura 1 Principales problemas regionales de los países de la OCDE.
OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.



Fuente: OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.

La Figura 2 muestra, por su parte, los objetivos que de manera explícita buscan las políticas regionales en esos países.

Figura 2. Objetivos de las políticas regionales de los países de la OCDE.
OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.



Fuente: OECD, Regional Development Policies in OECD Countries, 2010.

Además de los componentes de equidad y crecimiento, el desarrollo sostenible está siendo gradualmente incluido en los objetivos de política regional (por ejemplo, Bélgica, Francia,

Hungría y España). Las mejoras de la gobernanza, es también un objetivo de la política en algunos países (por ejemplo, Hungría y Corea). El mantenimiento y/o el desarrollo la estructura espacial (como la búsqueda de una estructura territorial policéntrica y la cooperación inter-regional) es un objetivo de política en un grupo más limitado de países, particularmente en aquellos donde no es uniforme la calidad de la prestación de los servicios (por ejemplo, Finlandia, Irlanda y Noruega).

Un aspecto importante y que vale la pena resaltar es que un número creciente de países de la OCDE han introducido el nivel de coordinación regional como un mecanismo para el logro de los objetivos de desarrollo, y por lo tanto tienen un rol en la planeación y la asignación de recursos.

En ese sentido, la planificación estratégica a nivel regional está ganando terreno. En la Unión Europea, el impacto de la política de cohesión de la UE en los países de Europa no es sólo financiera; sino que ha hecho énfasis en el fortalecimiento de la capacidad de actores locales y regionales para diseñar e implementar programas regionales y desarrollar asociaciones con actores privados.

En general se reconoce que las administraciones regionales pueden aprovechar la información más detallada que tienen de sus respectivos territorios frente al Gobierno central para lograr la coherencia y articulación que los niveles inferiores no pueden, lo que asegura una planeación más flexible y eficiente.

B. La definición e identificación de subregiones

La regionalización y subregionalización apuntan de alguna manera, a la identificación de “territorios pertinentes” lo que permite una mejor comprensión de las tendencias nacionales y sub-nacionales, y los efectos diferenciales de las políticas en el territorio y para la implementación de estrategias y políticas de desarrollo territorial.

En el caso de la mayoría de los países de la OECD el debate metodológico y de identificación de dichas subregiones es relativamente marginal ya que dichas regiones y subregiones tienden a estar dadas por esquemas institucionales, en el caso de países federales, y adicionalmente, suelen ser unidades territoriales de carácter intermedio formalmente establecidas. En esos casos, el debate se concentra en los propósitos y enfoque de las políticas regionales, teniendo en cuenta la tipología de esos niveles territoriales y otros instrumentos, para orientar de mejor manera dichas políticas.

En el caso de Colombia, la oportunidad de definir las subregiones teniendo en cuenta sus propósitos, pone en el centro la metodología de agregación. En ese sentido, a grandes rasgos podemos identificar las siguientes categorías de regionalización⁴:

a) La Región Homogénea. Es una unidad definida mediante factores de diferenciación (social, físico, económico o político). Corresponde a un espacio continuo en el que cada una de las partes o zonas constituyentes presentan características similares a las demás. Según Gasca (2009: 35) la Región Homogénea “es el ámbito continuo o uniforme en el que cada una de sus partes presentan características afines lo que permite evidenciar las continuidades, similitudes y diferencias espaciales que guardan determinados fenómenos”.

La homogeneidad está determinada por la selección de una o más variables que permitan dar cuenta de los diferentes grados de cohesión o divergencia del territorio, de manera que se puedan agrupar territorios lo más homogéneos posibles. En este caso, la regionalización representa un ejercicio de clasificación, de identificación taxonómica y de representación de los elementos, atributos, componentes o fenómenos que interesa destacar (Rodríguez, Manent; 2016).

b) La Región Funcional. Son unidades territoriales definidas a partir de la interdependencia funcional y de la densidad de flujos entre sus elementos. El sistema se organiza en torno a un polo o centro, en el cual todos sus elementos se relacionan más intensamente que con otros nodos localizados fuera del ámbito territorial (Rodríguez, Manent; 2016).

En la región funcional se tratan de explicar procesos de integración de territorios a partir del alcance que ejercen determinados polos o centros (nodos) según su jerarquía y fuerza de articulación y los vínculos existentes entre sus habitantes y su integración funcional. La región nodal o funcional no responde al principio de homogeneidad, sino a la función de articulación interna que genera una estructura organizada. Se establece a partir del análisis de densidad de redes de circulación y flujos de personas, bienes e información, es decir, a partir de la interacción entre lugares (Gasca; 2009. Citado en Rodríguez, Manent; 2016).

Tomando adicionalmente elementos de la Nueva Geografía Económica (Krugman, Fujita, Venables; 2004), a la existencia de nodos y de flujos, surge la aparición de áreas de influencia (Valenti, 1983, citado por Bezzi, 2004), que plausiblemente van atenuándose conforme aumenta la distancia a los nodos.

⁴ Rodríguez, J. M. (2016). *La Región como categoría geográfica*. Morelia, México: CIGA UNAM.

Gilbert, A. (1988). The new regional Geography in English and. *Progress in Human Geography*, 208-228.

Ortega L, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. Barcelona: Ariel.

c) Las Regiones Geográficas, Culturales o Políticas. Son territorios demarcados fundamentalmente por razones históricas, lingüísticas, culturales o políticas. Estas predominan, por ejemplo, en buena parte de las clasificaciones de países europeos, donde la noción de región no responde a un desarrollo de ninguna de las dos categorías anteriores mencionadas.

Para el caso colombiano para la definición de las subregiones se ha utilizado una regionalización funcional coherente con los propósitos del ejercicio.

Es importante resaltar que la escala subregional es una escala intermedia entre el nivel municipal y la escala regional, por lo que resulta fundamental comprender la naturaleza de esa unidad territorial, antes de profundizar los elementos sobre la identificación de su funcionalidad. Para tener una primera aproximación se pueden utilizar las categorías de los países miembros de la OCDE, los cuales clasifican los niveles territoriales intermedios de acuerdo a dos niveles (TL o “*territorial levels*” por sus siglas en inglés). El propósito de dicha clasificación, además de tener fines estadísticos, tiene como propósito facilitar la comparabilidad internacional y el diseño de las políticas subnacionales.

El primer nivel (denominado nivel territorial 2 o TL2) consta de macro-regiones, mientras que el segundo nivel (denominado nivel territorial 3 o TL3) se compone de micro-regiones. El nivel TL2 se compone de diversas micro-regiones del nivel TL3 (contenido el TL3 en el TL2). Estos niveles se establecen oficialmente, de forma relativamente estable y se utilizan en la mayoría de los países como marco para la implementación de políticas regionales⁵.

En esta clasificación de la OCDE, las regiones se presentan como una estructura de árbol, es decir, las regiones grandes TL2 están contenidas en sus países y las regiones pequeñas TL3 están incluidas en sus respectivos TL2. Hay dos excepciones a esta regla: i) Estados Unidos, para el cual los TL3 no están contenidos en un solo TL2, y ii) la región TL3 'Ost-Friesland' en Alemania que está contenida en dos regiones TL2, el 'Bajo Sajonia' [DE9] y 'Bremen' [DE5].

De manera ilustrativa, como se puede apreciar en la Tabla 2, Francia se divide en 22 regiones del nivel TL2 y 96 departamentos del nivel TL3; Alemania tiene 16 regiones del nivel TL2 y 96 regiones de planeación espacial del nivel TL3; Italia tiene 21 regiones del nivel TL2 y 107 provincias del nivel TL3; México 32 estados del nivel TL2 y 209 grupos de municipios del nivel TL3; España tiene 19 comunidades autónomas del nivel TL2 y 59 provincias del nivel TL3; Estados Unidos 51 estados del nivel TL2 y 179 áreas económicas del nivel TL3.

⁵ Para un desarrollo se puede consultar: “TERRITORIAL GRIDS OF OECD MEMBER COUNTRIES”, OCDE, <http://www.oecd.org/gov/regional-policy/42392313.pdf>

Tabla 2. *Regiones Geográficas de los países de la OCDE*

| Países de la OCDE | Superficie/ Área (1000 km ²) | Población 1997 (1000 inh) | Niveles territoriales 2 | | Niveles territoriales 3 | |
|------------------------|--|---------------------------|--|------|---|------|
| | | | Nombre | No. | Nombre | No. |
| Australia | 7 687 | 18 532 | Estados/territorios | 8 | Divisiones estadísticas | 58 |
| Austria | 84 | 8 072 | Regiones federales | 9 | Grupos de distritos políticos | 35 |
| Bélgica | 31 | 10 181 | Regiones | 3 | Provincias | 11 |
| Canadá | 9 976 | 30 287 | Provincias | 12 | Divisiones censales | 288 |
| República Checa | 79 | 10 304 | Grupos de regiones | 8 | Región | 14 |
| Dinamarca | 43 | 5 285 | Regiones | 3 | Condados | 15 |
| Finlandia | 338 | 5 140 | Grandes áreas | 6 | Provincias | 20 |
| Francia | 633 | 58 608 | Regiones | 22+4 | Departamentos | 96+4 |
| Alemania | 357 | 82 061 | Territorios | 16 | Distritos de gobierno (modificado) | 49 |
| Grecia | 132 | 10 498 | Grupos de regiones de desarrollo | 4 | Regiones de desarrollo | 13 |
| Hungría | 93 | 10 155 | Regiones con planeación estadística | 7 | Condados | 20 |
| Islandia | 103 | 272 | Estado | 1 | Regiones | 8 |
| Irlanda | 70 | 3 661 | Estado | 1 | Regiones de autoridad regional | 8 |
| Italia | 301 | 56 868 | Regiones | 20 | Provincia | 103 |
| Japón | 378 | 126 166 | Grupos de prefecturas | 10 | Prefecturas | 47 |
| Korea | 99 | 45 991 | No disponible aún | | No disponible aún | |
| Luxemburgo | 3 | 424 | Estado | 1 | Estado | 1 |
| México | 1 996 | 94 184 | Estados | 32 | Regiones | 209 |
| Países Bajos | 41 | 15 609 | Región | 4 | Provincias | 12 |
| Nueva Zelanda | 269 | 3 761 | Estado | 1 | Consejos regionales | 14 |
| Noruega | 324 | 4 393 | Región | 7 | Condados | 19 |
| Polonia | 313 | 38 650 | Provincia | 16 | No disponible aún | |
| Portugal | 92 | 9 950 | Comisiones de coordinación regional + regiones autónomas | 5+2 | Grupos de consejos | 28+2 |
| España | 505 | 39 323 | Comunidades autónomas | 16+2 | Provincias | 48+4 |
| Suecia | 450 | 8 848 | Códigos NUTS | 8 | Provincias administrativas | 21 |
| Suiza | 41 | 7 087 | Grandes regiones | 7 | Áreas de empleo | 16 |
| Turquía | 781 | 63 745 | Regiones | 7 | Provincias | 80 |
| Reino Unido | 245 | 59 009 | Regiones de oficinas gubernamentales + regiones | 12 | autoridades de nivel superior o grupos de autoridades de nivel inferior o grupos de autoridades unitarias o grupos de distritos | 133 |
| Estados Unidos | 9 372 | 266 792 | Estados | 51 | Zonas de conmutación | 765 |

Fuente: OECD, TERRITORIAL GRIDS OF OECD MEMBER COUNTRIES.

En el total de los países de la OCDE existen 362 grandes regiones (TL2) y 1.794 pequeñas regiones (TL3), lo que da una relación promedio de 4,95 pequeñas regiones por cada región grande.

Un punto relevante es si el nivel subregional en el caso de Colombia debe estar contenido en el nivel TL2 (es decir, si las subregiones deben estar contenidas dentro de los límites de las regiones), como ocurre en la mayoría de los países OCDE, o si se privilegia el carácter funcional de la escala territorial subregional como en el caso de los Estados Unidos donde ésta representado por las denominadas “Áreas Económicas” del Bureau of Economic Analysis del Departamento de Comercio⁶, que engloba los mercados regionales relevantes que rodean las áreas metropolitanas o micro-metropolitanas.

En el caso de Colombia y dado que las relaciones funcionales frecuentemente desbordan los límites departamentales y que el nivel territorial TL3 (de forma similar a los EE.UU y de manera contraria a los países de Europa) no es, ni busca ser transformado en una escala territorial de carácter administrativo ni político, sino facilitar la asociatividad y promover la coordinación, las sub-regiones podrán superar los límites de los Departamentos.

C. Subregionalización y funcionalidad territorial

Como se señaló en la sección anterior, la subregionalización para Colombia que se desarrolla en este ejercicio se enmarca en un enfoque de región funcional, donde las unidades territoriales son definidas a partir de la interdependencia funcional y de la densidad de flujos entre sus elementos. Dichos flujos se refieren a las interacciones económicas y sociales entre los habitantes, las organizaciones y las empresas de un territorio, al intercambio de bienes y servicios productivos y ecosistémicos, y a los flujos de información que se concentran en dicho territorio (Berdegué, Jara, et al; 2011)⁷.

1. Polos o nodos dinamizadores

El mapa de las interacciones, flujos e intercambios dentro de un territorio suelen concentrarse, como se indicó, en torno a un polo o centro, en el cual todos sus elementos (es decir, el conjunto de interacciones, flujos e intercambios) se relacionan más intensamente que con otros nodos localizados fuera del ámbito territorial (Rodríguez, Manent; 2016).

⁶ <https://www.bea.gov/index.htm>

⁷ Aunque el énfasis es en las interdependencias actuales, esta concepción de territorio es coherente con una interpretación sociológica que define el territorio como un espacio con identidad socialmente construida (Schejtman y Berdegué; 2004). Esta definición tiene la particularidad de poner el acento en los procesos sociales, económicos, culturales e históricos (es decir la historia de las interacciones) que dan forma y sentido al territorio: los territorios "realmente existentes", o espacios que son reconocidos como unidades funcionales por los propios habitantes y por otros agentes (Berdegué, Jara, et al; 2011).

Dichos polos o centros son, de manera protagónica, el sistema de ciudades y un conjunto de áreas urbanas que no necesariamente hacen parte formal del sistema de ciudades, pero que pueden jugar un rol significativo en las dinámicas de los territorios y de los territorios rurales en particular. En efecto, los centros urbanos inciden sobre la dinámica del territorio en su conjunto da a través de distintos tipos de mecanismos, tales como una mayor dotación de capital humano, diversidad social, cobertura de servicios públicos básicos, acceso de empresas y personas a servicios más especializados, tamaño y diversificación del mercado laboral, menores brechas de empleo entre mujeres y hombres en el mercado laboral, mejor conectividad física y virtual, menor brecha de inversión pública entre el núcleo urbano y el entorno rural y mayor competencia política en el gobierno local. Estas condiciones y capacidades son provistas por la ciudad, o existen gracias a ella, pero son del conjunto del territorio y no solo de su núcleo urbano.

De otro lado, la expansión de la mancha urbana implica, en algunos casos, el desbordamiento de las economías de aglomeración sobre el territorio generando procesos de conurbación que traspasan frecuentemente los límites político-administrativos, y a los cuales están asociadas un conjunto de externalidades positivas y negativas, y que generan, a la postre, la formación de un sistema urbano con ciudades de diferentes órdenes o jerarquías (Bateman et. al. 2018).

Las implicaciones de estos procesos son dos: por un lado, la generación de interdependencias municipales (asociadas a las interacciones entre personas, organizaciones y empresas), y de otro lado, la ruptura con la tradicional dicotomía rural-urbana y el entendimiento de la dinámica del territorio como un “portafolio de lugares” (Banco Mundial, 2009) que combina ciudades principales y secundarias (intermedias), pueblos situados a diferente distancia de las ciudades, y población rural dispersa (Ver Figura 3).

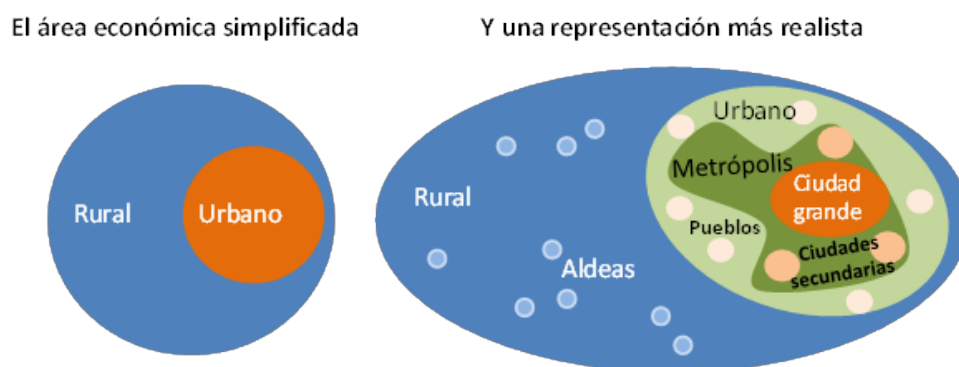


Figura 3. De un sistema monocéntrico a un "portafolio de lugares".
Fuente: Banco Mundial (2009)

El concepto de portafolio de lugares con ciudades de diferentes órdenes y jerarquías es central para la identificación de regiones funcionales donde dichos polos o nodos ejercen una influencia diferencial sobre los territorios dependiendo de su jerarquía y fuerza de articulación y de su integración funcional con dichos territorios.

Es en este contexto donde se introduce el concepto de “nodo dinamizador”, por el rol efectivo o potencial de ciudades de diferente jerarquía para inducir procesos de transformación del territorio, y de los territorios rurales en particular. La importancia de los núcleos urbanos o “nodos dinamizadores” en un territorio puede ser aproximado a través de un modelo gravitacional, donde la intensidad de los flujos, y por ende la influencia, depende del tamaño del núcleo (importancia de las economías de aglomeración), y de la distancia o tiempo de viaje efectivo a dicho núcleo. Una ciudad de mayor tamaño genera una mayor densidad de flujos e intercambios que una ciudad pequeña, y éstos son más fuertes en las áreas más cercanas que en las áreas más alejadas⁸.

Sin embargo, se debe anotar que las ciudades intermedias tienen un rol protagónico y muchas veces más significativo sobre el desarrollo territorial y el desarrollo rural en particular, debido a la existencia de fuertes vínculos urbano-rurales entre éstas y su entorno rural (hinterland). En el análisis de Rimisp (2016, 2017), dichos territorios corresponden a los denominados territorios urbano-rurales, nucleados en torno a ciudades intermedias de diferentes tamaños y donde la proximidad de los vínculos urbano-rurales se convierten en un mecanismo de gran potencial para impulsar el desarrollo rural y la inclusión social de la población rural. Esto se explica porque en dichos territorios se expresan con particular importancia los procesos de transformación estructural que se reflejan en la transformación de los sistemas agroalimentarios, la intensificación de los procesos de urbanización y la diversificación de los mercados laborales, todo lo cual repercute en mayores niveles y mayor participación del empleo y de los ingresos rurales no agropecuarios en la formación de los ingresos de los hogares rurales⁹.

2. Territorios funcionales

Una de las consecuencias directas de los procesos de conurbación y de la expansión de la mancha urbana más allá de los límites político administrativos es la conformación de territorios funcionales (Berdegué, 2011), también denominadas áreas económicas funcionales, regiones económicas funcionales, regiones funcionales urbanas, y áreas de mercado laboral local, entre otros (Berry, 1968; Coombes & Openshaw, 1982; Tolbert & Killian, 1987; Tolbert & Sizer, 1996; Banai & Wakolbinger, 2011; Berdegué, Jara, Fuentealba, Tohá, Modrego, Schejtman & Bro, 2011). Todas estas se refieren a espacios de mercados traslapados, “donde diferentes

⁸ A ello está asociado el concepto de la “sombra de la aglomeración”, en referencia al debilitamiento progresivo de los efectos de las aglomeraciones urbanas sobre el territorio en la medida en que nos alejamos del núcleo de la aglomeración.

⁹ Es necesario profundizar en los factores que posibilitan o dificultan el logro de dinámicas de crecimiento con inclusión social en estos territorios rurales urbanos. Las investigaciones adelantadas por Rimisp a la fecha, sugieren que existe un grado importante de heterogeneidad entre territorios urbanos-rurales en términos de su capacidad para generar dinámicas internas de crecimiento inclusivo.

unidades jurisdiccionales o unidades político administrativas tienen una mayor interacción o conexión entre ellas que con otras áreas externas” (Brown and Holmes, 1971:57, citado por Berdegué et. al. 2018).

Estos territorios o áreas funcionales tienen una gran importancia en el análisis de las dinámicas territoriales pues corresponden a áreas conectadas por intercambios económicos y sociales entre habitantes que viven y trabajan en municipios vecinos, interactúan en mercados locales y comparten bienes públicos y servicios sociales (Cörvers, et al., 2009).

En este sentido, el concepto de “territorios funcionales” hace referencia a espacios que contienen una alta frecuencia de interacciones económicas y sociales entre sus habitantes, sus organizaciones y sus empresas. Formalmente un territorio funcional es un conjunto geográficamente continuo de unidades territoriales dentro del cual un porcentaje importante de los habitantes se desplazan regularmente para trabajar¹⁰ (Berdegué, Jara, et al; 2011).

La identificación de Territorios Funcionales en el PTT se basa en la metodología tradicional de identificación de Áreas Funcionales (*Functional Economic Areas*) introducida por Tolbert & Killian (1987), donde se realiza un análisis de clúster jerárquico después de cuantificar el vínculo entre dos unidades espaciales a partir de la importancia relativa de los flujos bidireccionales de conmutación laboral entre ellas.

La metodología desarrollada por Rimisp introduce como innovación el uso de fotografías satelitales de luces nocturnas, que, mediante un software para el manejo de sistemas de información geográfica, ayudan a identificar áreas político-administrativas (municipios en Colombia) que hacen parte de un mismo territorio funcional. Esta herramienta trae consigo varias ventajas metodológicas, pues sirve como un medio para actualizar, parcialmente, los datos de conmutación (salvo algunas excepciones, en Colombia los datos más actualizados de conmutación son del Censo 2005)¹¹.

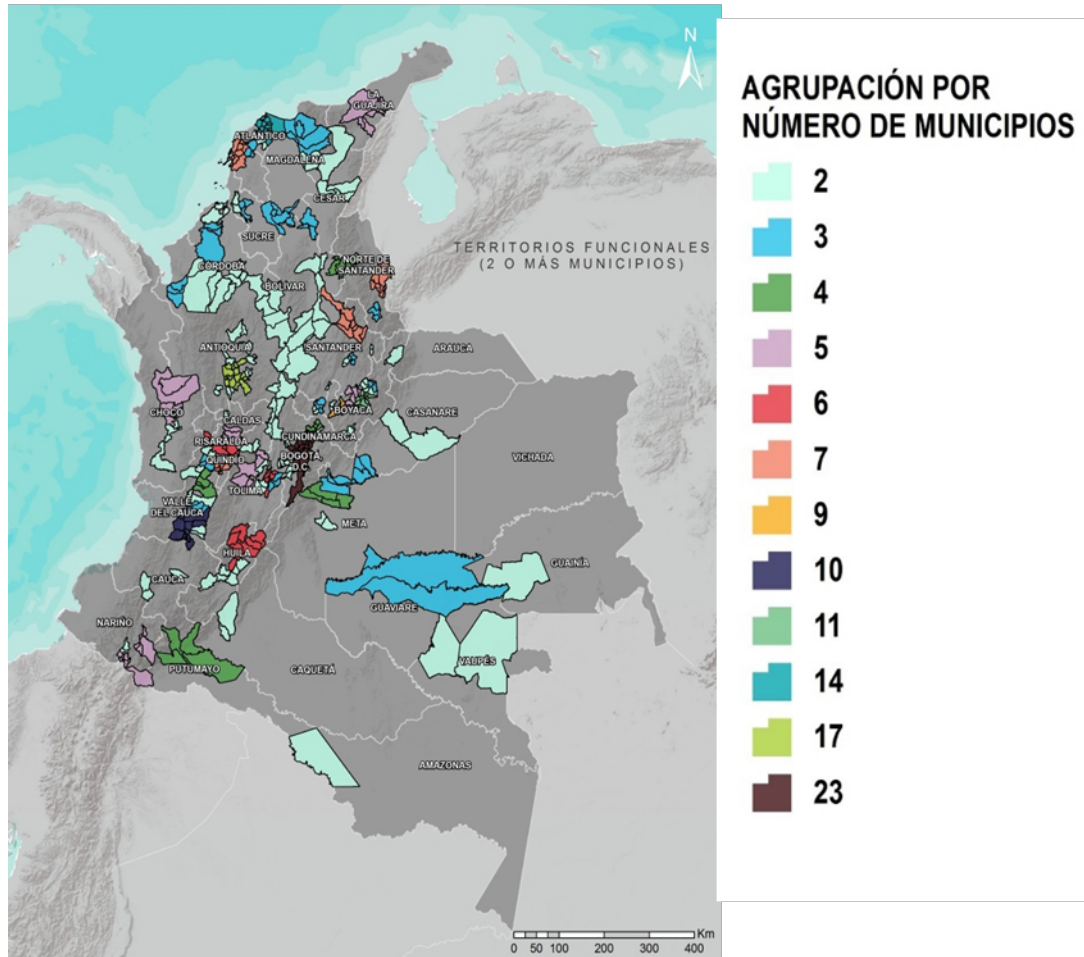
La Figura 4 muestra el resultado del ejercicio para Colombia. Se puede evidenciar que una gran parte del territorio no queda incluida dentro de estos territorios funcionales, en el sentido

¹⁰ Se debe señalar que la concepción de territorio funcional de Rimisp (Berdegué, Jara, Fuentealba, Tohá, Modrego, Schejtman & Bro, 2011) no se agota en las relaciones económicas ni se refiere tan solo a la existencia de áreas económicas, como suele enfatizarse en metodologías similares implementadas en la OECD10. En el enfoque de Rimisp subyace la idea de territorio como construcción social y en este sentido, los flujos entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo están relacionados con múltiples funciones sociales, culturales, políticas y ambientales que se expresan en vínculos locales (Casado-Díaz & Combes, 2011).

¹¹ Es importante resaltar también el ejercicio de territorios funcionales realizado por la Dirección de Desarrollo Sostenible para la identificación de relaciones urbano-rurales y externalidades positivas frente a la existencia de nodos funcionales.

de que no guardan relación con otros municipios contiguos por procesos de conurbación o de conmutación laboral¹².

Territorios Funcionales



Fuente: Rimisp

Figura 4. Territorios funcionales.
Rimisp, 2018

En efecto, la Tabla 3 muestra que el 83% de los municipios, donde vive el 20% de la población, no presentan mercados laborales comunes ni procesos de conurbación significativos con municipios vecinos. Dentro de un ejercicio de subregionalización, sin embargo, deben utilizarse otros criterios de interdependencia municipal para agrupar dichos municipios dentro de subregiones que tengan sentido desde el punto de vista de los objetivos del ejercicio, es

¹² Ambos elementos, particularmente la continuidad lumínica, están vinculados a la proximidad espacial.

decir, de la identificación de políticas para reducir el rezago productivo e institucional, y mitigar las brechas territoriales.

Tabla 3. *Categorías de territorios - Colombia*

| Categoría de Territorio | No. de territorios | Población 2014 (millones) | No. de municipios por territorio |
|--|--------------------|---------------------------|----------------------------------|
| TF Metropolitanos >600 mil hbts. | 5 | 20.0 | 14,2 |
| % del total | 1% | 42% | |
| TF Urbanos (entre 400 y 600 mil hbts.) | 3 | 2.6 | 6,3 |
| % del total | 0% | 6% | |
| TF Rurales Urbanos (entre 20 y 400 mil hbts) | 138 | 15.7 | 2,1 |
| % del total | 16% | 33% | |
| Territorios rurales | 718 | 9.5 | 1 |
| % del total | 83% | 20% | |
| Total | 861 | 47.7 | 1.122 |

Fuente: Rimisp, 2017.

TF: territorios funcionales identificados a partir por manchas luminosas de fotos satelitales nocturnas y tasas de conmutación laboral.

3. Otras funcionalidades territoriales

La definición de territorios funcionales no niega la existencia de otro tipo de interacciones y relaciones entre territorios contiguos y que son pertinentes desde el punto de vista de la definición de políticas públicas dirigidas a aprovechar las dinámicas territoriales para lograr una mayor cohesión territorial.

En este sentido, el ejercicio de construcción de subregiones funcionales es complementario al de identificación de territorios funcionales desde dos puntos de vista:

En primer lugar, capas adicionales de información, tal como veremos más adelante, permiten capturar otras fuentes de relaciones funcionales. Desde un punto de vista instrumental, el ejercicio de subregionalización tiene un alcance diferente metodológicamente: mientras el ejercicio de TF busca a partir de la definición de un umbral (de intensidad lumínica y de conmutación laboral), identificar municipios contiguos que tengan relaciones funcionales significativas, el ejercicio de subregionalización es exhaustivo, es decir, requiere agrupar la totalidad de los municipios del país, en subregiones que permitan avanzar en los propósitos descritos anteriormente.

En segundo lugar, desde el punto de vista conceptual, la subregionalización requiere identificar relaciones funcionales territoriales que vayan más allá de aquellas que se derivan

de la proximidad espacial vinculadas a la existencia de mercados laborales comunes y del proceso de urbanización, incluso como *proxies* de otros vínculos locales de carácter social, cultural y político.

Para ampliar la noción de funcionalidad territorial se parte de dos nociones conceptuales: i) la naturaleza de las relaciones funcionales y ii) las dimensiones temáticas que producen relaciones funcionales.

En cuanto al primer componente el centro de la identificación de las relaciones funcionales pasa por la relación espacial que se manifiesta en los flujos y sus interdependencias, los cuales no siempre son observables por ausencia de información. Es por ello que se buscan identificar las interdependencias funcionales de distintas maneras y por ellos se consideran tres escalas de las relaciones funcionales, tal como se aprecia en la Figura 5: (a) contigüidad territorial que implique relaciones funcionales; (b) flujos e interdependencias territoriales, y (c) influencia territorial.

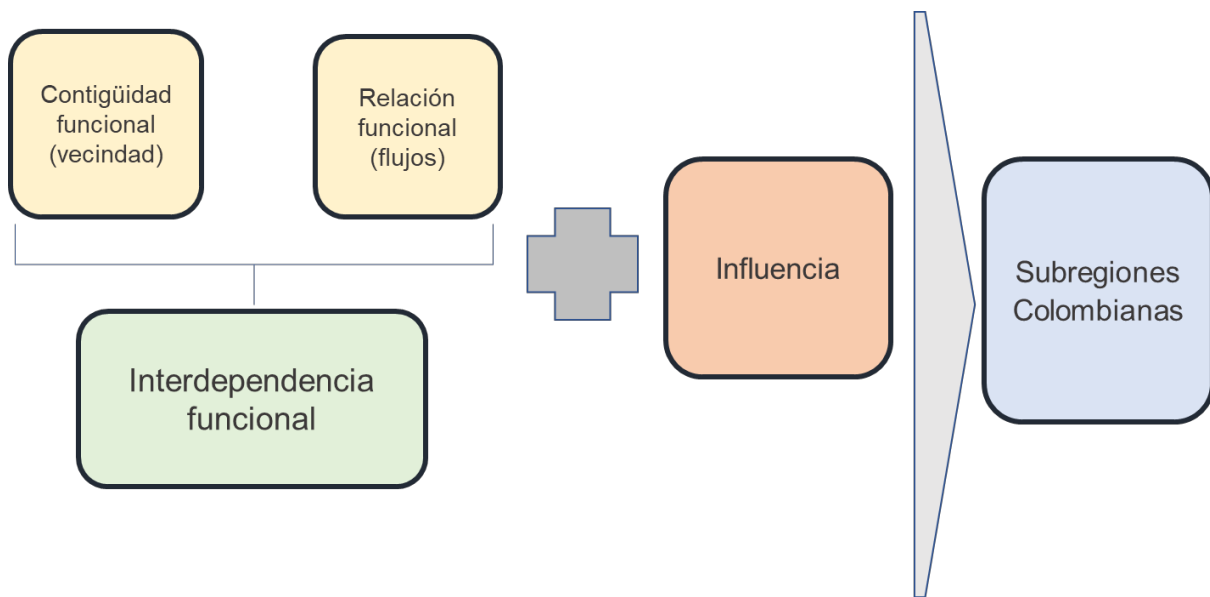


Figura 5. Relaciones funcionales

Se propone entonces, por un lado, la identificación de interdependencias funcionales a través de dos fuentes: a) la identificación directa de las relaciones funcionales a través de los flujos de conmutación, y b) el ámbito de la contigüidad, en aquellos casos donde la contigüidad pueda ser un indicativo de relaciones funcionales, como es el caso de los clústers económicos y la existencia de ecosistemas compartidos. Adicionalmente se introduce la noción de influencia asociada con la distancia (tiempo) entre los territorios, y el tamaño, a través de la

existencia e importancia de nodos dinamizadores, dada la relación existente entre la existencia de interdependencias y las variables de proximidad y tamaño¹³.

Por otra parte, las dimensiones temáticas a considerar parten de las categorías de los flujos territoriales¹⁴ dentro de los cuales se puede considerar: i) poblacionales (flujos de personas), ii) económicos (flujos de bienes y servicios), iii) ambientales (flujos ecosistémicos), y iv) sociales (flujos derivados del acceso a los servicios públicos y sociales).

De esa manera el cruce entre las dimensiones y las escalas y naturaleza de las relaciones funcionales permite construir un mapa conceptual para la identificación de las mismas como se muestra en la Figura 6:

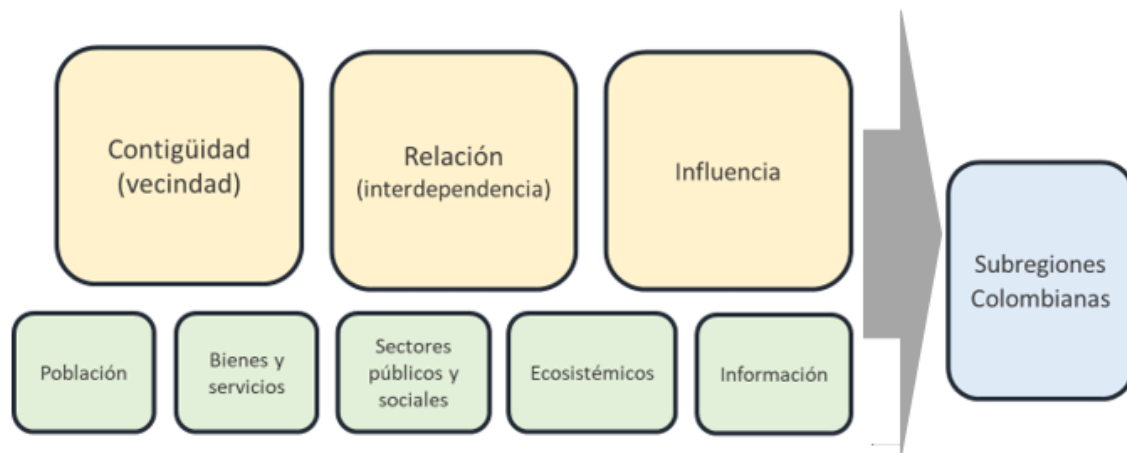


Figura 6. Mapa conceptual para la identificación de las relaciones funcionales

Así, se tienen tres escalas de relaciones funcionales, dos de ellas en las cuales puede producirse para cada una de las dimensiones, de manera que puede haber una contigüidad poblacional o ecosistémica que denota interdependencias, una relación generada por flujos de bienes y servicios o por acceso a servicios sociales. En el caso de la influencia se toma como proximidad relevante, la distancia (tiempos de viaje) entre los municipios, afectada por jerarquía de nodos del sistema territorial.

A manera ilustrativa, en este marco analítico el ejercicio de identificación de territorios funcionales de Rimisp introduce una variable de contigüidad poblacional (intensidad de luces) y otra de interdependencia poblacional (conmutación laboral).

¹³ De manera equivalente a como el modelo gravitacional relaciona la gravedad con la masa y la distancia.

¹⁴ Bateman, Ramírez, et. al. Interdependencia municipal en regiones metropolitanas: El caso de la Sabana de Bogotá. BID-Fedesarrollo, 2018.

El ejercicio de subregionalización funcional al buscar ampliar la noción de funcionalidad debe incorporar otras variables que denoten contigüidad funcional (no toda variable de contigüidad, sino aquellas que impliquen funcionalidad territorial), así como otras que identifiquen otros flujos relevantes en el territorio. Por ejemplo, la contigüidad de parques naturales y áreas protegidas refleja relaciones funcionales ecosistémicas, así como la contigüidad de especializaciones productivas o clústers productivos, denota relaciones funcionales económicas, o los flujos de salud o educación reflejan relaciones funcionales entre los territorios. Todas estas son relaciones funcionales que se extienden más allá de la existencia de mercados laborales comunes o de procesos de conurbación.

Adicionalmente, la incorporación de la escala de influencia, permite identificar, más allá de las relaciones funcionales actualmente existentes (entendiendo como existentes por aquellas que se pueden medir), relaciones potenciales dadas por la proximidad y la jerarquía de nodos dinamizadores. Este elemento es crucial porque si bien un número significativo de territorios no aparecen integrados con otros municipios en territorios funcionales, pueden tener un potencial de integración con los sus vecinos, en particular dada la importancia de identificar y potenciar los vínculos urbano-rurales.

III. MARCO METODOLÓGICO

En el ámbito metodológico el desafío es recoger los elementos del marco conceptual y buscar la mejor manera de agregar los componentes de manera que permita agrupar, con la información disponible seleccionada, n áreas (municipios), en p regiones (subregiones funcionales).

A. La familia de los modelos p-regiones para agregación espacial

La literatura sobre metodologías de agrupamiento o clusterización para efectos de construcción de regiones y/o áreas para diversos fines es abundante¹⁵ y en los últimos años ha tenido un desarrollo acelerado que ha sido posible por los avances computacionales y la capacidad en el procesamiento de datos, que es el principal desafío técnico dado el crecimiento exponencial en la complejidad computacional que representa un problema de muchas unidades básicas (son exponenciales las posibilidades de agrupamiento).

¹⁵ Region-building (Byfuglien and Nordgard, 1973); Conditional clustering (LeJovitch, 1980); Clustering with relational constraints (Ferligoj and Batagelj, 1982) Constrained clustering (Legendre, 1987); Contiguity constrained clustering (Murtagh, 1992); Regional clustering (Maravalle and Simeone, 1995); Contiguity constrained classification (Gordon, 1996) Regionalization (Wise et al., 1997); Clustering under connectivity constraints (Hansen et al., 2003).

Así mismo, es muy amplia la gama de aplicaciones de este tipo de metodologías de agrupamiento, que van desde la propia regionalización territorial, pasando por la construcción de distritos electorales o escolares, hasta aplicaciones en el sector privado como la definición de territorios para otorgar áreas a las franquicias, o las zonas de distribución de locales comerciales o servicio técnico¹⁶.

En ese contexto surge una metodología para la construcción de regiones analíticas, que técnicamente es llamada la familia de modelos p-regiones¹⁷, donde su principal desafío y potencia reside en no imponer condiciones sobre la forma de las regiones y que sea la distribución espacial de los datos, **y no el método de agregación**, como ocurre con la mayoría de las metodologías tradicionales de agregación y clusterización, lo que determine la forma de las regiones.

El artículo seminal que plantea el problema de las p-regiones es el de Duque, Church, Middleton (2011), el cual se refiere a la agregación o agrupación de “n” áreas pequeñas en “p” regiones continuas, a la vez que se optimizan una o varias condiciones. El objetivo principal es explorar posibles vías para la formulación de este problema en forma de programación lineal entera y mixta (MIP por sus siglas en inglés).

La cuestión fundamental en la formulación de este problema es asegurar que cada región sea un conjunto de áreas pequeñas espacialmente continuo. Se presentan tres modelos de MIP para resolver el problema de p-regiones. Cada modelo minimiza la suma de diferencias entre todos los pares de las áreas dentro de cada región, sin dejar de garantizar su continuidad. Las tres estrategias diseñadas para asegurar la continuidad son: (1) una adaptación del modelo de Miller, Tucker, y Zemlin (1960) que hace uso de las restricciones desarrolladas para el problema del vendedor viajero (*traveling salesman problem*); (2) el uso de variables de asignación de área-ordenada (*ordered-area assignment variables*) basado en un ampliación del enfoque elaborado por Cova y Church (2000) para el problema de diseño de sitio geográfico (*geographical site design problem*); y, (3) el uso de restricciones de flujo basado en una extensión del trabajo de Shirabe (2005). Duque, Church, Middleton (2011) ponen a

¹⁶ Williams (1995); Kalcsics, Nickle and Schroder (2005); Altman (1997); Macmillan and Pierce (1994); Plane (1982); Hoja[^] (1996); Burton, Gearhart and Lii`schwager (1969) Thoreson and Lii`schwager (1967); Macmillan (2001); Moshman and Kokiko (1972)Ç; Bozkaya, Erkut and Laporte (2003); Yamada (2009); Hess, Weaver,; Siegfeldt, Whelan and Zitlau (1965) Horn (1995); Ricca and Simeone (2008); Ricca, Scozzari and Simmeone (2008) Vickrey (1961); Weaber and Hess (1963); Nagel and Kaiser (1966); Lii`schwager (1973); Mehrotra, Johnson, and Nemhauser (1998) Mills (1967); George, Lamar and Wallace (1997) Zoltners and Sinha (1983); Shanker, Tuner and Zoltners (1975); Marlin (1981); Easingwood (1973); Lodish (1975); DeSarbo and Mahajan (1984); Fleishmann and Paraschis (1990); Hess and Samuels (1971); Ferland, Guene`e (1990); Caro, Shirabe, Guignard and Weintraub (2004); Frank Massey and Wind (1972); Wind (1982).

¹⁷ The p-regions (Duque, Church, Middleton,2011); The max-p-regions (Duque, Anselin, Rey,2012); The p-compact-regions (Li, Church, Goodchild,2014); The p-functional-regions (Kim, Chun, Kim,2015); The Network-Max-P-Regions (She, Duque, Ye, 2016); The p-welfare-regions (Duque, Echeverri, 2017).

prueba la eficacia de cada formulación y presentan una estrategia para reducir el tamaño del problema a ser solucionado.

La mayor parte de aplicaciones de los modelos de la familia de p -regiones han sido desarrolladas con el objetivo de identificar una regionalización homogénea, en el sentido explicado en el marco conceptual desarrollado en la Sección II, buscando una agrupación de regiones homogéneas en función de una o más variables socioeconómicas seleccionadas.

En términos generales la presentación del problema es agrupar n áreas en m regiones (Ver Figura 7), buscando la homogeneidad de los municipios que componen una misma región y la heterogeneidad entre los municipios que componen diferentes regiones. Ello se expresa en una matriz de disimilaridad que expresa las similitudes o diferencias de cada par de municipios y en una función objetivo que usualmente busca minimizar la disimilaridad general, de manera que la mejor agrupación sea aquella que agrupa a los municipios más homogéneos entre sí y separa a los heterogéneos.

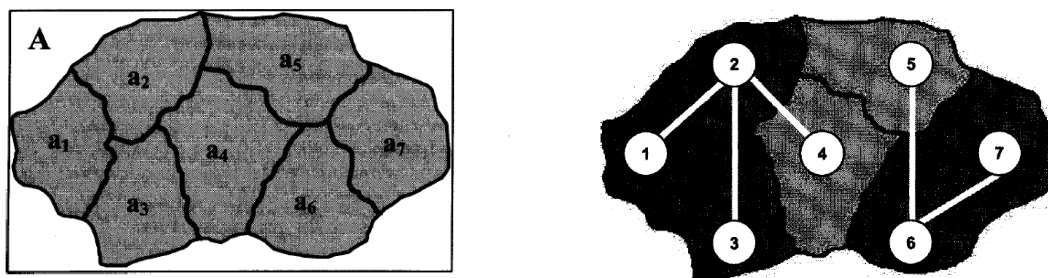


Figura 7. Ejemplo modelo p -regiones

La familia de modelos p -regiones presentan diversas variaciones dependiendo, por ejemplo, de si el número de regiones es predeterminado, o si un resultado endógeno del modelo, dentro de un proceso de optimización.

Más recientemente empiezan a aparecer en la literatura algunas aplicaciones de *p-functional regions*¹⁸ que resultan pertinentes para el desafío planteado para el ejercicio de subregionalización para Colombia, donde se busca agrupar por la funcionalidad de los territorios y no por su homogeneidad. En este caso el objetivo es maximizar el flujo entre un área central y un grupo de estas que forman parte de una zona de influencia. Las áreas asignadas a un centro deben tener un flujo hacia una central que esté por encima de un límite

¹⁸ Kamyong Kim, Yongwan Chun, Hyun Kim; *p-Functional Clusters Location Problem for Detecting Spatial Clusters with Covering Approach*; Geographical Analysis (2017) 49. Duque, J.C; Echeverri, L; *The p -welfare regions problem* (2018).

establecido. Duque y Echeverry (2018) por ejemplo, identifican una agrupación de regiones que maximizan la accesibilidad a infraestructuras públicas (colegios, hospitales, notarías), donde cada tipo de infraestructura tiene un tiempo de viaje, y por lo tanto, un área de cobertura.

El desafío de subregionalización para Colombia, sin embargo, requiere el diseño de una nueva familia de modelos de p-regiones, que combina varias de las aplicaciones existentes, tiene elementos de contigüidad, interdependencia e influencia (tiempo), y requiere un ajuste a la información existente.

B. El modelo de subregionalización para Colombia

Teniendo en cuenta las dos grandes dimensiones para la subregionalización: i) interdependencia (que contiene contigüidad funcional y relación definida por flujos), y ii) influencia (entendida como los tiempos de viaje entre los municipios, afectados por la jerarquía de nodos dinamizadores), podemos identificar las variables que, dada la disponibilidad de información, serán parte de la construcción del modelo de subregionalización.

La Tabla 4 refleja la identificación de variables a la luz del marco conceptual propuesto que permita ampliar la noción de funcionalidad territorial y cuya agregación y definición de subregiones se presentará a continuación.

Tabla 4. *Identificación de variables para el modelo de subregionalización*

| Relación funcional | | | |
|--|--|--|--------------------------------------|
| Dimensión | Contigüidad | Interdependencia | Influencia (Acceso) |
| Ambiental | Subzonas hidrográficas Parques Nacionales Naturales, áreas protegidas | | Distancia (tiempo de desplazamiento) |
| Poblacional | Mancha urbana por luces nocturnas | Conmutación laboral | |
| Económica | Clústers económicos no agropecuarios Clústers agropecuarios | | |
| Bienes y servicios Públicos y Sociales | | Conmutación por salud Conmutación por educación | |

Fuente: Dimensión Ambiental: IDEAM, SIAC, Dimensión Poblacional y de bienes y servicios públicos: Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) de la Fuerza aérea de Estados Unidos, DANE, Censo 2005, Dimensión Económica: Planilla pila y Censo Nacional Agropecuario 2014

De esa forma tenemos al menos una variable para cada tipo de interdependencia: en lo ambiental, las relaciones derivadas de la contigüidad ambiental (parques naturales y zonas protegidas¹⁹, y zonas hidrográficas); en lo poblacional la conmutación laboral, pero adicionalmente, dado el rezago temporal de la información, se incorpora la contigüidad poblacional a través de la información de mancha urbana medida con las luces nocturnas); en lo económico, las relaciones de interdependencias derivadas de la contigüidad económica tanto de *clusters* agropecuarios, como no agropecuarios; y en los bienes y servicios públicos y sociales, las interdependencias generadas por las conmutaciones por salud (nacimientos) y por educación (conmutación escolar).

Con el conjunto de estas variables se construye el componente de interdependencias incorporando: i) contigüidad ambiental, ii) contigüidad poblacional, iii) contigüidad económica, iv) conmutación laboral, y v) conmutación social y de servicios. El componente de interdependencia, se calcula entonces como la suma de las disimilaridades entre todos los pares de áreas que están en una misma subregión. (Ver Ecuación 1)

$$h^{interdependencia}(R_k) = \sum_{\delta=1}^6 \sum_{i,j \in R_k | i < j} w_{\delta} d_{ij}^{\delta}$$

Ecuación 1

Las disimilaridades de estos dos componentes, d_{ij} , reflejan la funcionalidad existente entre las áreas i y j , con $i, j \in I$ y $i < j$, donde w_{δ} es el peso asignado al componente δ (que en este modelo tiene los mismos pesos para todas las variables) y d_{ij}^{δ} es el valor de disimilaridad entre el área i y el área j según la función definida para el componente δ . Cada componente δ se construye a partir de un conjunto de z factores $F_{\delta} = \{F_{\delta 1}, \dots, F_{\delta z}\}$ donde $z \geq 1$.

A continuación, se describen al detalle las matrices de disimilaridad (funcionalidad) construidas para cada una de las variables del componente de interdependencia.

i) Contigüidad ambiental

El componente de contigüidad ambiental se construye a partir de dos factores F11: Parques Naturales, reservas y santuarios, y otros ecosistemas estratégicos como páramos, manglares, humedales, y bosque seco tropical; y F12: Sub-zonas hidrográficas.

¹⁹ Se incluyen adicionalmente páramos, manglares, humedales, y bosque seco tropical.

Se busca capturar la contigüidad ecosistémica de dos municipios que implique funcionalidad, por lo tanto, la disimilaridad será menor (funcionalidad mayor) cuando: i) el área del parque o las zonas de reserva y áreas protegidas es más importante para ese par de municipios y ii) cuando ese parque o área natural está distribuido entre los dos municipios de una manera más equilibrada, es decir, en proporciones equivalentes entre ellos.

Así, el componente de contigüidad ambiental se construye de la siguiente manera: Tomemos un conjunto de PNN, reservas y santuarios y áreas protegidas, $\gamma: \Gamma = \{\Gamma_1, \dots, \Gamma_g\}$. La función de disimilaridad d_{11} estará dada por la Ecuación 2:

$$D_{ij} = 1 - \sum_g t_{ij}^g * \left(\frac{(a_i^g + a_j^g)}{(a_i + a_j)} \right) * 4 \left(\frac{a_i^g}{(a_i^g + a_j^g)} \right) \left(\frac{a_j^g}{(a_i^g + a_j^g)} \right)$$

Ecuación 2

Donde, a_i^g , a_j^g son el área ocupada por el parque γ en el área i y el área j respectivamente, y a_i, a_j representan la superficie total de las áreas i y j respectivamente.

El primer término de la función t_{ij} se activa solo cuando un par de municipios ij comparten un parque o reserva natural, de manera que cuando no lo hacen el componente toma un valor de 0 y la disimilaridad es 1 (es decir no tienen interdependencia funcional); cuando es 1 se activa el resto de la función, donde el segundo término de la función refleja que entre más importante sea el área del parque o reserva dentro del área de los municipios que la comparten, mayor será la relación funcional y menor la disimilaridad; de manera equivalente, el tercer componente aumenta la relación funcional cuando el área del parque está distribuida de manera más homogénea entre los dos municipios (hay más relaciones funcionales si el parque está la mitad en un municipio y la otra mitad en el otro, que cuando el parque ocupa, por ejemplo, una proporción mayoritaria del territorio de un municipio y solo una proporción marginal en el otro). Esta relación toma un valor máximo de 0,25 cuando el parque se distribuye de igual manera entre ambos municipios (0,5x0,5). Esta es la explicación para el factor de 4 que multiplica dicha relación de manera que el valor máximo de dicho término es 1 contribuyendo a disminuir la disimilaridad hacia 0 (máxima relación funcional).

Simplificando la expresión algebraica, el coeficiente de disimilaridad toma la siguiente forma, la cual se usa de manera equivalente, en el cálculo de los coeficientes de disimilaridad asociados con la variable de subzonas hidrográficas (Ver Ecuación 3):

$$D_{ij} = 1 - \left(\frac{\sum_g t_{ij}^g * 4(a_i^g * a_j^g)}{(a_i + a_j)(a_i^g + a_j^g)} \right)$$

Ecuación 3

De esta manera se construyen los dos factores de la matriz de disimilaridad (funcionalidad) de la contigüidad ambiental, y su resultado es un promedio simple de ambas matrices: F11: Parques Naturales, reservas y santuarios, y otras áreas protegidas; y F12: Sub-zonas hidrográficas.

ii) Contigüidad poblacional

A partir de la información de los mapas de luces nocturnas, que permite identificar los procesos de conurbación que traspasan los límites municipales, se busca capturar la contigüidad poblacional que implica una funcionalidad intermunicipal. En este sentido, la disimilaridad será menor (es decir, la funcionalidad será mayor) cuando: i) el área de la mancha urbana es más importante para ambos municipios y ii) cuando la mancha urbana está distribuida proporcionalmente entre los dos municipios. La formulación de la matriz de disimilaridad es equivalente a la de la contigüidad ambiental, dando como resultado de la simplificación desde su formulación original a expresión de la Ecuación 4:

$$d_{ij}^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{v=1}^u 4t_{ij}^v a_i^v a_j^v}{(a_i + a_j)(a_i^v + a_j^v)} \right)$$

Ecuación 4

iii) Contigüidad económica

En términos de contigüidad económica, una variable que frecuentemente implica una funcionalidad que se expande más allá de los límites político-administrativos, es la existencia de clústers productivos. Estos son entendidos en como “un conjunto de actividades similares delimitadas geográficamente, con activos canales de transacciones comerciales, comunicación y diálogo, que comparten infraestructura especializada, mercado de trabajos y de servicios, y que enfrentan oportunidades y amenazas comunes” (Rosenfeld, 1996, citado en Otero et al., 2004, p. 7).

En este documento adoptaremos una definición amplia de los clústers en el sentido de una concentración espacial de una actividad productiva en el territorio. Para su identificación nos basamos, por lo tanto en el cálculo del “factor de concentración del empleo” en una actividad productiva (o de la concentración del área cultivada en una región determinada en el caso de los clústers agropecuarios).

La contigüidad de esta concentración de la producción agropecuaria en productos específicos, así como de la producción industrial, es interpretada como una fuente de funcionalidad económica en el territorio. En este caso la disimilaridad será menor (la funcionalidad será mayor) cuando:

- Dos municipios contiguos tienen la misma especialidad productiva o “tipo de clústers” (agropecuaria o no agropecuaria).
- Cuando esa especialidad es mayor y la importancia económica de dicha actividad productiva es mayor como proporción del PIB o del área cultivada en el caso de los clústers agropecuarios.
- Cuando los dos territorios comparten más actividades o clústers productivos.

De esa manera, la matriz de disimilaridad de contigüidad económica se construye a partir de dos factores, la identificación de contigüidad por clústers agropecuarios y por no agropecuarios, siguiendo la formulación de la Ecuación 5:

$$d_{ij}^{32} = 1 - \left(\sum_{\varphi=1}^f \sum_{\theta=1}^y t_{ij\theta}^{\varphi} \xi_{\varphi} \right)$$

...donde

$$t_{ij\theta}^{\varphi} = \begin{cases} 1, & \text{si } i, j \in \Theta_{\theta}^{\varphi} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad \wedge \quad \forall \Theta_{\theta}^{\varphi} \in \Theta^{\theta} \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$\xi_{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^{\varphi}}{\sum_{\varphi=1}^f \sum_{i=1}^n a_i^{\varphi}}$$

Ecuación 5

Tomemos un determinado conjunto de *clusters* de actividades económicas transables, $\sigma : \Sigma = \{\Sigma 1, \dots, \Sigma s\}$. Para cada actividad económica σ , y cada área i se calcula un índice de concentración del empleo, $ICE_{i\sigma}$, como se ve en la Ecuación 6:

$$ICE_{i\sigma} = \frac{\frac{l_i^{\sigma}}{\sum_{\sigma=1}^s l_i^{\sigma}}}{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^{\sigma}}{\sum_{\sigma=1}^s \sum_{i=1}^n l_i^{\sigma}}}$$

Ecuación 6

Donde $l_{i\sigma}$ es el número de trabajadores ocupados en la actividad económica σ en el área (municipio) i . Partiendo de lo anterior, para cada sector σ se establece un conjunto de áreas compactas compuestas por municipios $\psi_{\sigma} : \Psi_{\sigma} = \{\Psi_{\sigma 1}, \dots, \Psi_{\sigma y}\}$ t.q $ICE_{i\sigma} \geq \text{threshold} \quad \forall i \in \Psi_{\sigma \phi} \wedge \Psi_{\sigma \phi} \cap \Psi_{\sigma \phi'} = \emptyset \quad \forall \Psi_{\sigma \phi}, \Psi_{\sigma \phi'} \in \Psi_{\sigma}$.

De manera equivalente para los clústers agropecuario, se parte de conjunto de productos agropecuarios con una participación importante a en la producción agropecuaria nacional ϕ : $\Phi = \Phi_1, \dots, \Phi_f$, $\sigma : \Sigma = \{\Sigma_1, \dots, \Sigma_s\}$. Para cada producto agropecuario ϕ , y cada área i se calcula un índice de concentración del área sembrada, ICS_i^ϕ (Ver Ecuación 7).

$$ICS_i^\phi = \frac{\frac{a_i^\phi}{\sum_{\phi=1}^f a_i^\phi}}{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^\phi}{\sum_{\phi=1}^s \sum_{i=1}^n a_i^\phi}}$$

Ecuación 7

Donde a_i^ϕ es el área sembrada del producto agropecuario ϕ en el área (municipio) i . Partiendo de lo anterior, para cada sector ϕ se establece un conjunto de áreas compactas compuestas por municipios (Ver Ecuación 8).

$$d_{ij}^{31} = 1 - \left(\sum_{\sigma=1}^s \sum_{\psi=1}^y t_{ij\psi}^\sigma \xi_\sigma \right)$$

Ecuación 8

El resultado de la contigüidad económica será el promedio simple de las matrices de disimilaridad de sus dos factores, como son la presencia de clústers agropecuarios y no agropecuarios.

iv) Conmutación laboral

El componente de interdependencia poblacional se construye a partir de la conmutación laboral. La función estará definida como se ve en la Ecuación 9:

$$d_{ij}^{41} = 1 - \left(\frac{l_{ij} + l_{ji}}{\text{Min}\{L_i, L_j\}} \right)$$

Ecuación 9

Donde l_{ij} es el número de personas que viven en el área i y trabaja en el área j , l_{ji} es el número de personas que viven en el área j y trabajan en el área i , y L_i y L_j es la fuerza de trabajo del área i y del área j respectivamente.

Por la naturaleza de la conmutación laboral, un porcentaje relativamente bajo de la fuerza laboral de un municipio que conmute a otro, puede representar una alta inter-dependencia

(por ejemplo, el ejercicio del sistema de ciudades del DNP considera que con una conmutación del 10% dos municipios hacen parte de la misma aglomeración) (DNP, 2014). Además, por construcción se generan algunos datos atípicos mayores que 1 y cercanos a 1, cuando un municipio grande, tiene una conmutación pequeña a un municipio pequeño, pero, qué dado que la fuerza laboral de ese municipio es muy pequeña, el valor de la interdependencia da como resultado un valor muy alto.

Por lo anterior, en la conmutación laboral, así como en la conmutación social y de servicios, se considera que una conmutación del 10% ya es considerada una máxima disimilaridad (funcionalidad) poblacional.

v) Conmutación social y de servicios

Finalmente, el componente de interdependencia de servicios públicos se construye a partir de dos factores: conmutación por salud y educación, ambos construidos de manera equivalente a la laboral como se ve en la Ecuación 10:

$$d_{ij}^{61} = 1 - \left(\frac{s_{ij} + s_{ji}}{\text{Min}\{S_i, S_j\}} \right)$$

Ecuación 10

Donde s_{ij} es el número de nacimientos en el área i cuando la madre reside en el área j , s_{ji} es el número de nacimientos en el municipio j cuando la madre reside en el municipio i , y S_i y S_j es el total de nacimientos en el área i y en el área j respectivamente y que tuvieron un hijo ese año.

De manera equivalente para educación, ver Ecuación 11:

$$d_{ij}^{62} = 1 - \left(\frac{e_{ij} + e_{ji}}{\text{Min}\{E_i, E_j\}} \right)$$

Ecuación 11

Donde e_{ij} es el número de personas que viven en el área i y estudian en el área j , e_{ji} es el número de personas que viven en el área j y estudian en el área i , y E_i y E_j es el total de personas entre 5 y 25 años de edad en el área i y en el área j respectivamente.

Por otra parte, el componente de influencia (tiempos de viaje entre los municipios afectados por la jerarquía del nodo dinamizador) cumple el doble propósito de aproximarse a interdependencias no identificadas dada las limitaciones de información y de facilitar la integración urbano-rural del territorio logrando sub-regiones compactas en términos de accesibilidad entre los territorios agrupados.

La variable de influencia busca capturar que las relaciones entre los municipios se dan, tal como lo predice el modelo gravitacional, en función del tamaño y la distancia (un municipio tiene más relación con otro entre más cercanos se encuentren entre sí y un municipio entre más grande sea suele generar mayores relaciones, flujos e interdependencias, con los demás municipios).

La distancia se construye con base al tiempo de desplazamiento desde las cabeceras municipales entre todos los municipios, dado que la distancia física, particularmente en un país con la geografía de Colombia, suele introducir una lectura errónea sobre la cercanía.

La matriz de tiempos de viaje se normaliza con valores entre 0 y 1, siendo 0 el menor tiempo de viaje de la matriz y 1 un tiempo de 6 horas²⁰ que representa el tiempo después del cual se considera que un municipio está desconectado de otro. Con ello se evita que se priorice la regionalización de municipios desconectados en función de mejoras de tiempo que en todo caso van a impedir que los municipios aprovechen la ventaja de relativa cercanía. De esa forma se consigue además que en el caso de municipios desconectados se priorice su agrupación en subregiones con base a sus relaciones de interdependencias con sus vecinos.

Adicionalmente, a la matriz de tiempos de viaje se le hacen dos ajustes relevantes. Primero, dado que los tiempos de viaje son modificados por los cambios en la infraestructura vial y dado el sentido de permanencia de la sub-regionalización, se incorporaron las mejoras en tiempos de viaje generadas por las obras de infraestructura en vías 4G que y están en proceso de construcción y aquellas planeadas que ya tienen su cierre financiero y cuya construcción es altamente probable.

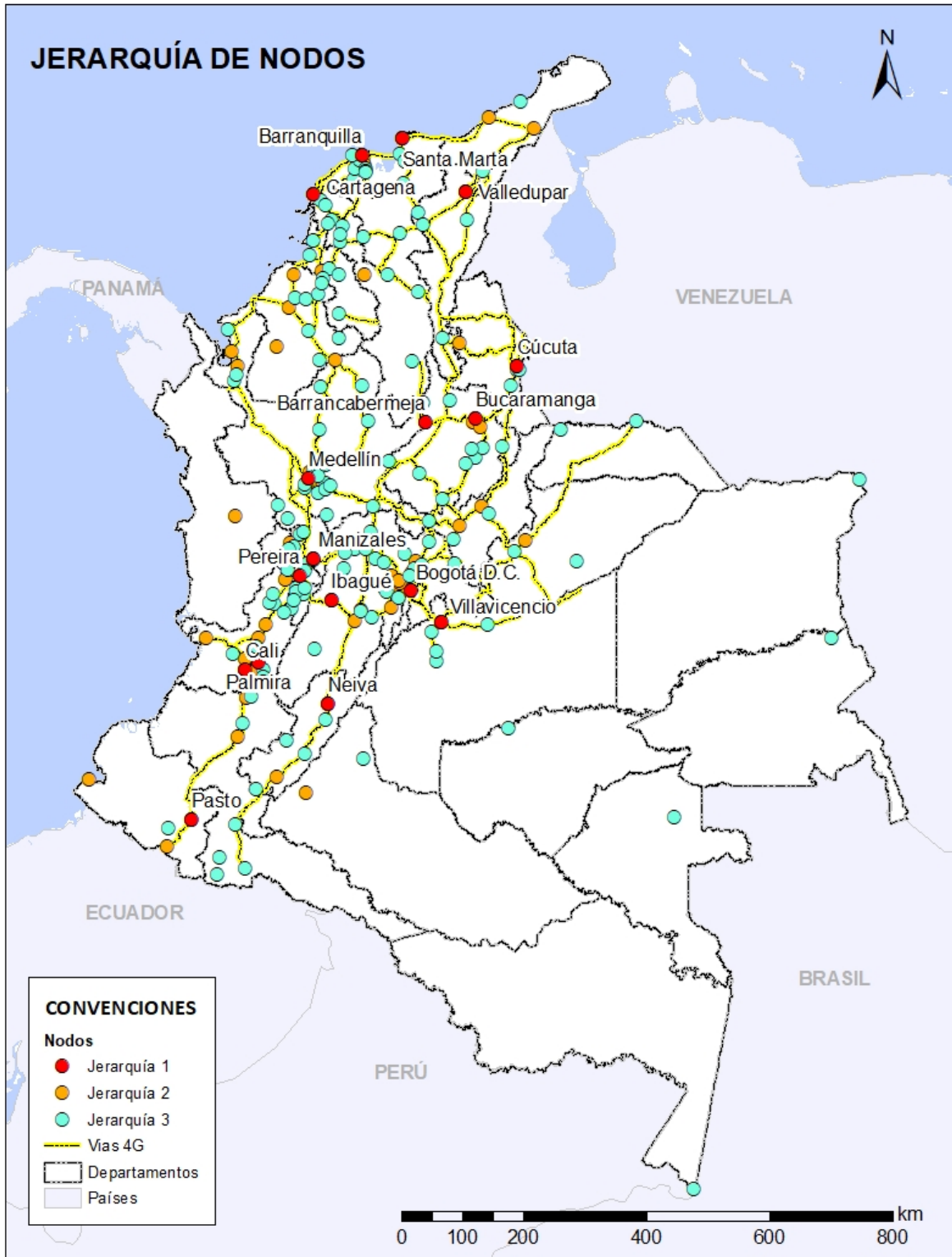
En segundo lugar, se reconoce un elemento conceptual derivado de que el tamaño de municipios, definido por la jerarquía de los nodos dinamizadores, define su influencia, también llamada por algunos autores como “área de potencial de mercado” (Christaller, Lösh), o como la sombra de la aglomeración (Krugman, 2000). En ese sentido, se categorizaron los nodos dinamizadores en tres jerarquías donde la primera tiene un área de influencia mayor (tiempo menor) que los de segunda y los de la jerarquía 3 un área de influencia menor a los anteriores, los municipios que no son nodos dinamizadores tienen un área de influencia menor (tiempo mayor).

La selección de los nodos en cada categoría se realiza manteniendo el hecho estilizado de que entre la jerarquía de nodos sea mayor, el número de miembros de la misma es menor. Así los nodos dinamizadores de la jerarquía 1 son 17 municipios (que corresponden a las

²⁰ Hay que diferenciar el tiempo que establecemos a partir del cual un municipio se considera desconectado a algún nodo dinamizador (en este caso 6 horas), de un tiempo al cual se considera que un municipio está cerca de una ciudad (que en la tipología de la OCDE se aplica 90 minutos). No estar cerca no significa estar desconectado y no estar desconectado no significa no estar cerca, es decir, hay un rango importante de tiempos entre los dos que no los hacen incompatibles.

principales ciudades del país), los nodos de la jerarquía 2 son 50 (que corresponden en su mayoría a municipios aglomerados y a ciudades intermedias) y los de jerarquía 3 son 149 municipios que en su mayoría son ciudades pequeñas y municipios intermedios (Ver Figura 8).

Figura 8. Mapa de nodos diferenciando las jerarquías



Fuente: Elaboración propia.

Estos son identificados a partir de un puntaje construido sobre tres variables: a) el tamaño de la población urbana del municipio (en logaritmos); b) el PIB no minero municipal (en logaritmos), y c) el número de empresas presentes en el municipio (en logaritmos)²¹.

Con dichas variables se construye un indicador como promedio ponderado²² y se toman los primeros 214 municipios del ranking como nodos dinamizadores. Ese umbral tiene básicamente dos criterios: i) el punto en el cual se aplana el comportamiento del indicador (después de ese punto las diferencias entre los valores del índice en un gran número de municipios empiezan a ser marginales), y ii) después del municipio 216 empiezan a aparecer municipios que en las categorías de ruralidad de la Misión de Transformación del Campo fueron categorizados como municipios rurales dispersos, carácter que es difícil de compatibilizar con los roles de nodo dinamizador²³.

De esa forma, el componente de influencia se representa en una matriz de tiempos de viaje entre los municipios, donde los tiempos de viaje se modifican en función de la jerarquía que ocupan en el sistema territorial: entre mayor la jerarquía del municipio, mayor la influencia que ejerce sobre los demás (menor tiempo de viaje).

A partir de esos elementos, la heterogeneidad de una región es la suma de dos componentes: la heterogeneidad de la interdependencia y la heterogeneidad de influencia (Ver Ecuación 12):

$$H_k = h^{interdependencia}(R_k) + h^{influencia}(R_k)$$

Ecuación 12

Para una partición P_p la mediremos como la suma de las dos heterogeneidades de cada región (Ver Ecuación 13):

$$H(P_p) = \sum_{k=1}^p H_k = \sum_{k=1}^p h^{interdependencia}(R_k) + h^{influencia}(R_k)$$

Ecuación 13

²¹ Estos indicadores tratan de capturar lo que en el modelo gravitacional representa el tamaño del municipio y como este afecta las interdependencias con su entorno.

²² Los factores de ponderación son 0.2, 0.6 y 0.2 respectivamente.

²³ Dentro de los municipios que son nodos potenciales en el modelo se excluyen aquellos que presentan procesos de conurbación con otros de mayor puntaje, es decir, que comparten manchas luminosas con otro municipio que constituye el nodo de la aglomeración.

Que puede expresarse como el problema de minimizar (Ver Ecuación 14) que representa la forma en que se suman los valores de la dij al interior de cada subregión con los valores de la cij de tiempos de viaje entre los municipios que conforman la sub-región:

$$H = \sum_i \sum_{j|j>i} d_{ij}t_{ij} + \sum_i \sum_{o|o \neq i} c_{io}l_{io}$$

Ecuación 14

Es decir, el modelo lo que busca es una agrupación de subregiones que permita maximizar las relaciones funcionales de cada subregión (minimizar la disimilaridad) y que los tiempos de viaje entre los municipios agrupados sea el menor posible. De esa forma se tiene una propuesta de subregiones donde se privilegian las relaciones funcionales y la distancia en sentido económico (tiempos de viaje).

C. Operatividad del modelo: ejemplo representativo

El modelo básicamente funciona en dos pasos (Ver Figura 9):

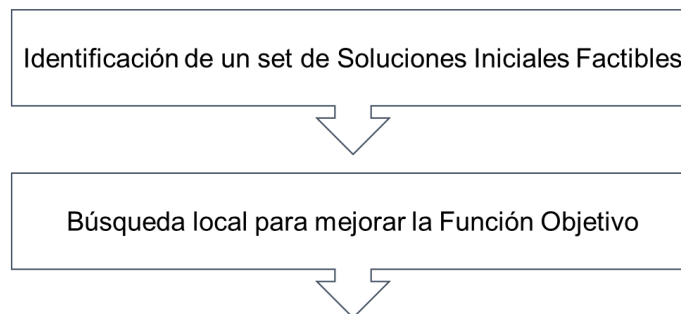


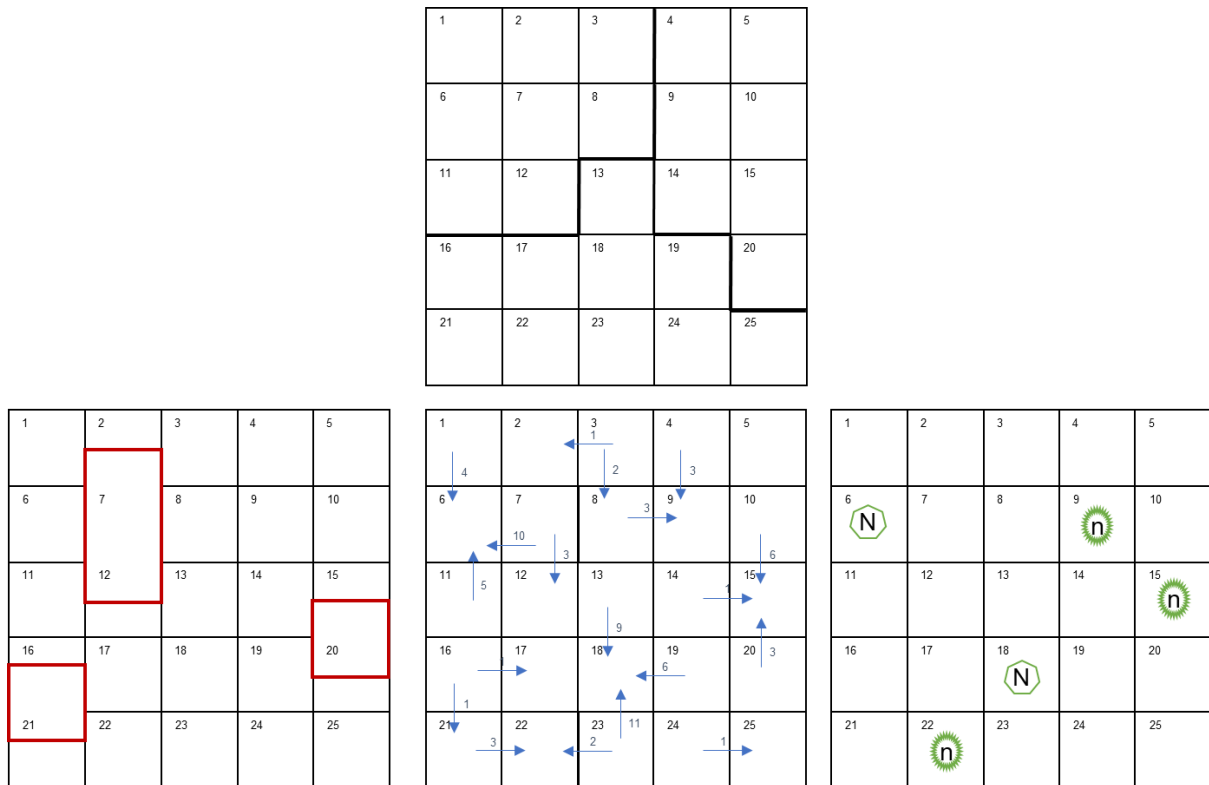
Figura 9. Modelo de subregionalización.

En primer lugar, se realiza un número elevado de soluciones iniciales factibles, es decir un buen número de agrupamientos que cumplan las condiciones del modelo. En esta etapa, se selecciona del grupo de soluciones iniciales aquella que tenga un menor valor de la función objetivo.

En segundo lugar, con esa mejor solución inicial identificada se inicia la segunda parte del proceso heurístico que es la búsqueda local de mejoras en la función objetivo, que permitirá ir haciendo pequeños ajustes al agrupamiento que la mejore. Esta búsqueda local incluso puede permitir desmejoras temporales de la función objetivo que permita escapar de óptimos locales.

Para entender mejor el proceso, se construye un ejemplo simple que busca agrupar en tres subregiones, un grupo de 25 municipios en función de los dos componentes propuestos: interdependencia e influencia. Para ello suponemos un escenario con los siguientes elementos (Ver Figura):

Figura 9. Escenario ejemplo de subregionalización



Fuente: Elaboración propia.

Se supone que el componente de interdependencia está conformado por dos elementos: la contigüidad poblacional y los flujos educativos. En la contigüidad poblacional se representan tres conurbaciones o aglomeraciones urbanas, representadas en las áreas resaltadas en rojo: una mancha urbana que ocupa la mitad del municipio 2, la totalidad del municipio 7 y la mitad del municipio 12. Una mancha urbana que ocupa la mitad del municipio 15 y la mitad del municipio 20. Una mancha urbana que ocupa la tercera parte del municipio 21 y dos terceras partes del municipio 16.

Para la interdependencia social (conmutación educativa) se supone que las conmutaciones sociales solo se dan con municipios contiguos (movimiento de peón). El sentido de la flecha en el diagrama representa el destino del flujo. La idea es tratar de que los mayores flujos sean consistentes con la selección de municipios que se definen como nodos dinamizadores. Se supone que todos los municipios tienen un universo de 25 estudiantes.

Para el componente de influencia se definen dos tipos de nodos dinamizadores que representarán la importancia del nodo y que afectarán la capacidad de influencia sobre los municipios del ejemplo (mayor sombra de aglomeración). Se tienen nodos dinamizadores de jerarquía 1 en los municipios 6 y 18 y de jerarquía 2 en los municipios 9, 15 y 22.

La definición de la influencia se genera en varios pasos:

1. Definición de la matriz de tiempos de viaje. Para su elaboración se suponen trayectos solo en forma de L (todo origen destino tiene máximo dos rutas posibles, donde se registra la de menor tiempo de las dos). Los tiempos se construyen teniendo en cuenta la localización de los nodos y las fronteras de las regiones pre-definidas, y donde el sentido origen-destino no genera cambios en los tiempos de viaje.

2. Ajuste de los tiempos de viaje en función de la jerarquía del nodo dinamizador (mayor jerarquía – mayor influencia) que se reflejará en menor tiempo (mayor influencia – mayor cercanía - menor tiempo efectivo) a los nodos de jerarquía 1 (dos terceras partes del tiempo).

Con ello y las ecuaciones vistas en la sección anterior se prueba la funcionalidad del modelo. Como el número de municipios es pequeño se puede solucionar el modelo exacto y conocer la mejor subregionalización absoluta (medir la función objetivo de todas las posibles soluciones es factible en términos computacionales). Posteriormente se prueba si el modelo heurístico de tres pasos reproduce la mejor solución del modelo exacto.

En primer lugar, se reproduce un número amplio de soluciones factibles (mil soluciones iniciales factibles) y se puede ver que dentro de ese número de soluciones iniciales se encuentra la solución ideal (Ver Figura 10). Por lo que la búsqueda de soluciones permite llegar, o aproximarse a la solución ideal.

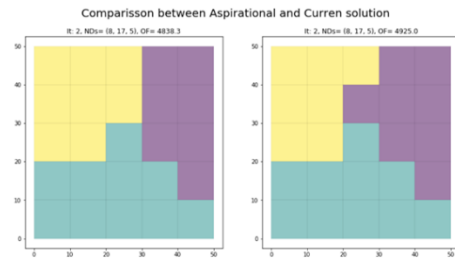
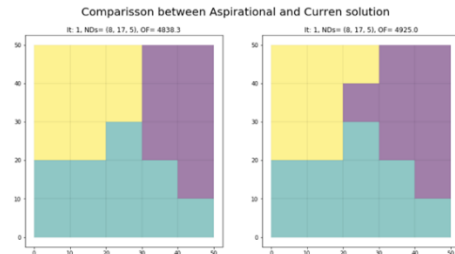
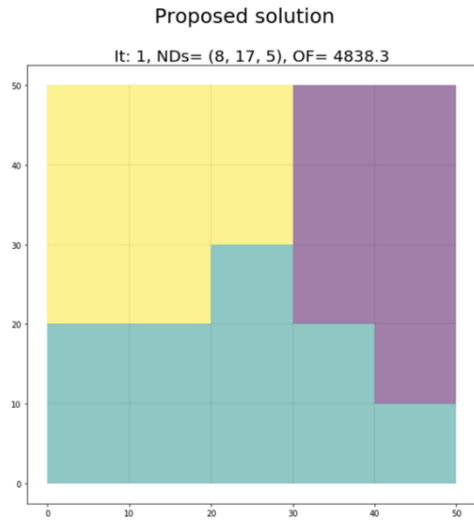


Figura 10. Solución inicial propuesta.

En segundo lugar, para probar la búsqueda local como instrumento de mejora de la solución inicial factible seleccionada, se realiza una segunda identificación de un número limitado de soluciones iniciales (solo tres soluciones) y a la mejor de ellas se le aplica la búsqueda local. Así la solución inicial es muy diferente y la búsqueda local permite ir haciendo pequeños ajustes a la subregionalización buscando mejoras de la función objetivo, tal como se verá en la Figura 12 a la Figura 13.

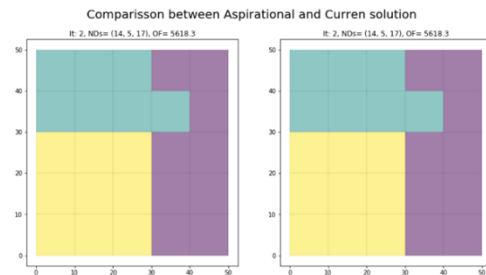
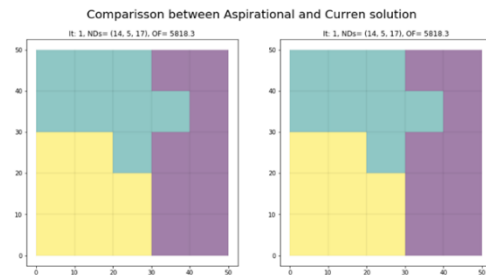
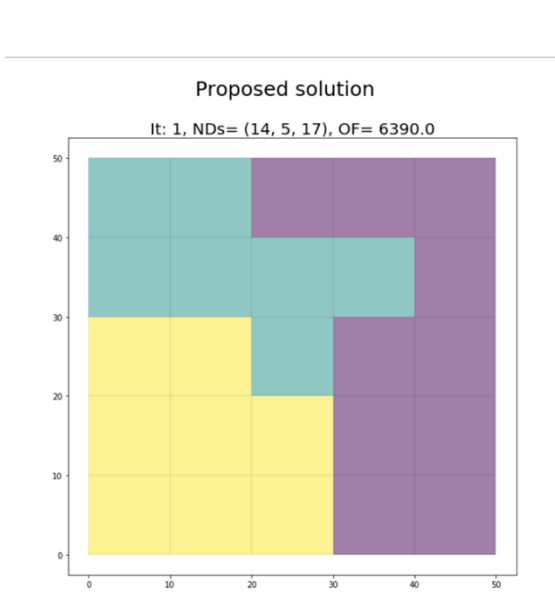
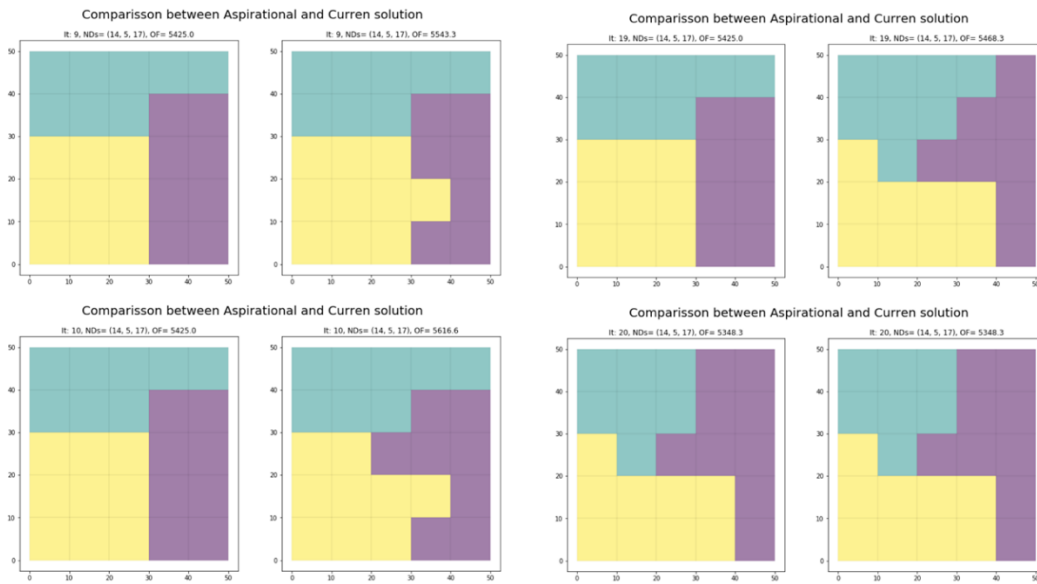


Figura 11. Segunda identificación de soluciones propuestas



12

Figura 12. Segunda identificación de soluciones propuestas

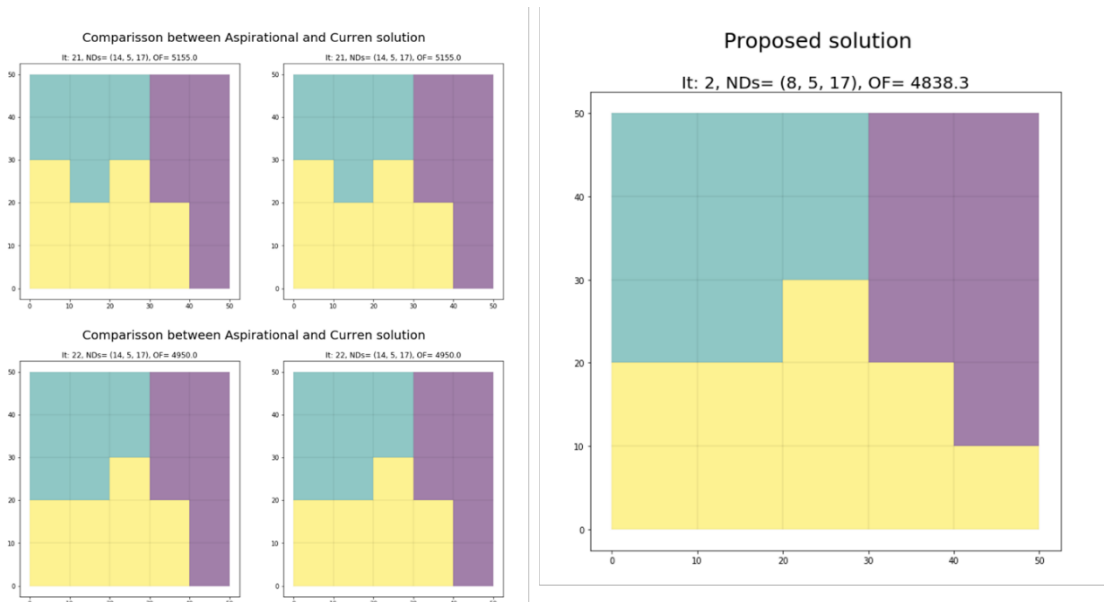


Figura 13. Segunda identificación de soluciones propuestas

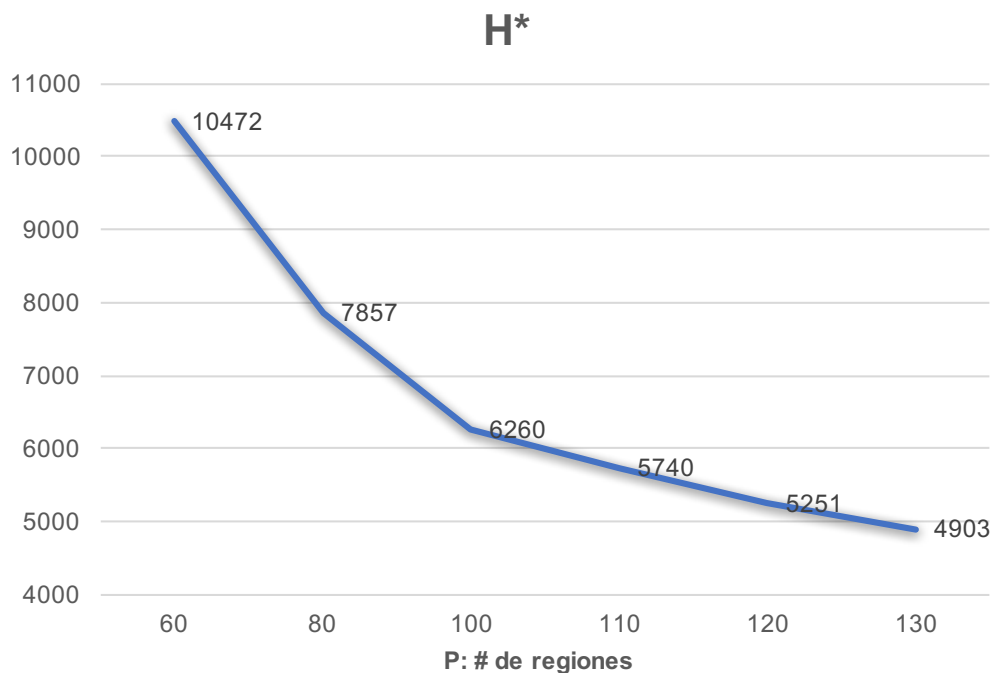
Como se puede apreciar (Figura 13), la búsqueda local logra llegar también a la mejor solución de subregionalización posible, mostrando en una pequeña representación de nuestro problema para Colombia, la forma de encontrar una solución que responda a nuestro objetivo: encontrar un agrupamiento de subregiones que permita maximizar las relaciones funcionales

entre las subregiones creadas y permita minimizar los tiempos de viaje a sus respectivos nodos dinamizadores.

IV. RESULTADOS INICIALES DEL MODELO PARA COLOMBIA

En primer lugar, con la aplicación del modelo para Colombia, descrito en el marco metodológico, se requiere identificar el número óptimo de subregiones, dada la función objetivo del modelo de subregionalización establecido. Para ello se calcula la variación de la función objetivo, conforme aumenta el número de subregiones (si hay tantas subregiones como municipios, la función objetivo será cero, la función es decreciente al número de subregiones), de manera que se identifique el punto donde la variación marginal es mayor.

Figura 14. Número de regiones y valor de la función objetivo



De esa forma, se identifica 100 como el número de subregiones apropiado para el caso colombiano, con un número mayor de subregiones se disminuye la función objetivo, pero a una tasa marginal menor.

Una vez identificado el número de p-regiones, el modelo encuentra una solución realizando los tres pasos identificados en la figura 8 y generando un resultado inicial de la subregionalización para Colombia.

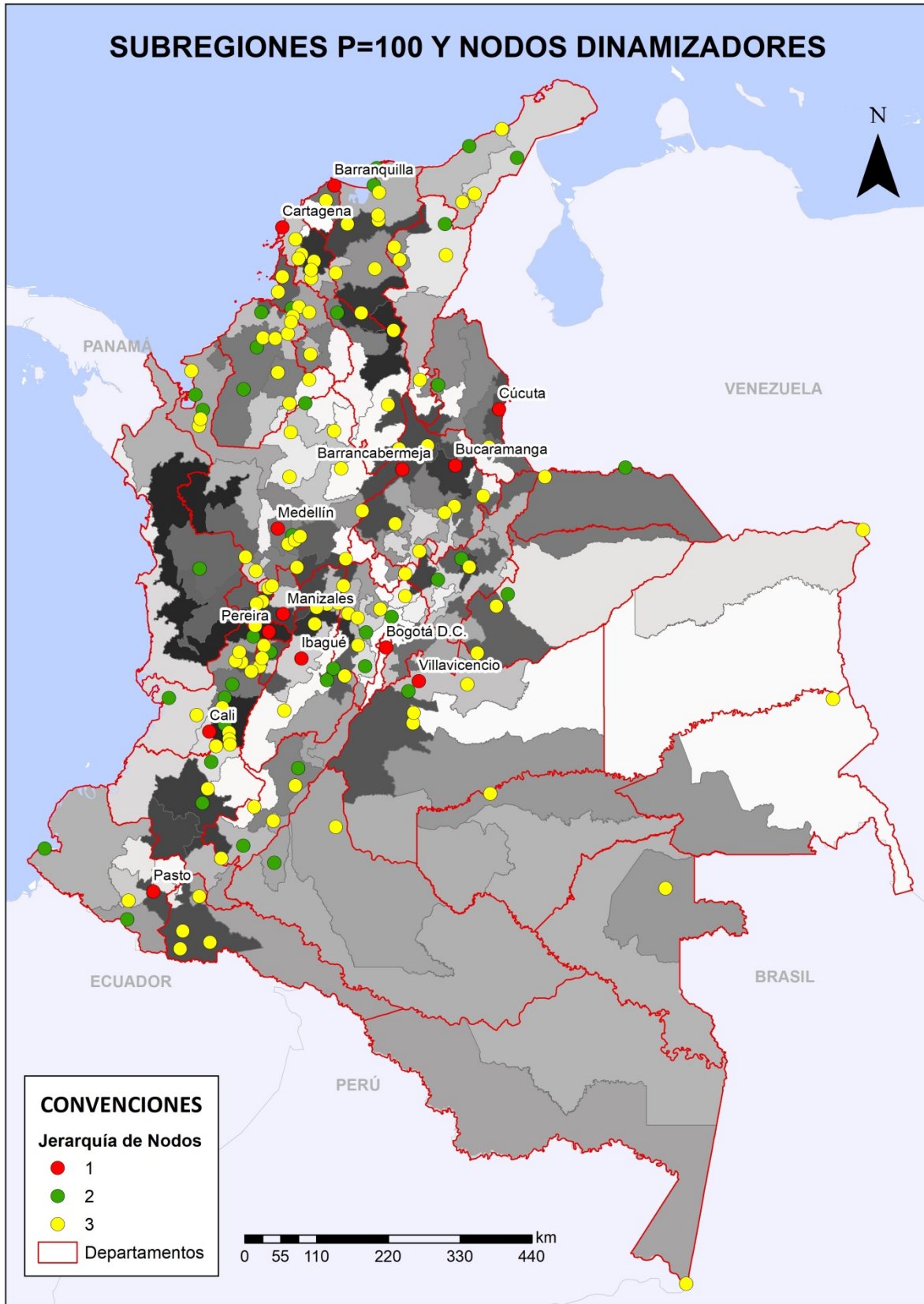
Es importante resaltar que es una solución inicial, porque el rol del modelo es identificar una solución factible que minimice la función objetivo dentro de una búsqueda heurística, es decir, dada la complejidad del modelo, esa es la mejor solución encontrada, pero no nos garantiza que sea el óptimo absoluto, el cuál puede no ser identificado. El modelo tanto en la búsqueda de soluciones iniciales, como en la búsqueda local, prueba cientos de miles de soluciones y ajustes dentro de las decenas de millones posibles.

Es decir, el modelo y el algoritmo, con su capacidad computacional, nos acercan al óptimo, pero no lo garantizan, dado que no es la solución de un modelo exacto, sino heurístico. Lo anterior implica que el modelo facilita la tarea del ojo experto que conoce el territorio, pero no la reemplaza. La solución del modelo, por tanto, debe tener la mirada del conocedor del territorio.

La solución del modelo se puede apreciar en el siguiente mapa. Se pueden identificar las 100 subregiones identificadas, así como la distribución de los nodos en el territorio, distinguiendo por la jerarquía de los mismos, donde la mayor presencia de nodos en el centro del país se relaciona con un relativo menor tamaño en términos territoriales, las subregiones del centro menos extensas y las del sur mucho más extensas.

Es también interesante apreciar la forma elongada, menos compacta, de algunas subregiones, ello tanto por aspectos relacionados con la geografía accidentada del territorio y el rol de las vías 4G para efectos de conectividad y su incidencia en los tiempos de viaje que determinan el componente de influencia.

Figura 14. Mapa de subregiones inicial



El segundo elemento a resaltar es la forma en que las subregiones superan los límites político-administrativos de los Departamentos. Solamente en el 28% de las subregiones todos los municipios que la componen hacen parte del mismo departamento, en el restante 72% los municipios hacen parte de dos o más departamentos, donde la gran mayoría de subregiones están en dos y tres departamentos (tabla 5).

Tabla 5. *Subregiones y límites departamentales*

| Presencia en departamentos | # Subregiones | Porcentaje | Acumulado |
|----------------------------|---------------|---------------|-----------|
| 1 | 28 | 28.00 | 28.00 |
| 2 | 48 | 48.00 | 76.00 |
| 3 | 19 | 19.00 | 95.00 |
| 4 | 4 | 4.00 | 99.00 |
| 5 | 1 | 1.00 | 100.00 |
| Total | 100 | 100.00 | |

Como casos especiales están las subregiones compuestas por 4 o más departamentos que aunque podría parecer exagerado cuando se identifican los caso puntuales tienen sentido. Uno de los casos donde se involucran más municipios de diferentes departamentos es el de la subregión compuesta por La Dorada, que está en el departamento de Caldas, y que involucra municipios como Puerto Boyacá que está en Boyacá, Puerto Triunfo que está en Antioquia, Puerto Salgar que está en Cundinamarca y Honda que está en Tolima.

En cuanto al tamaño de las subregiones, el 90% de las subregiones es de entre 9 y 12 municipios. Así mismo, el 89% de los municipios del país hacen parte de subregiones que están compuestas por entre 8 y 14 municipios, el 9% entre 13 y 14 y un poco más del 1% entre 7 y 8 municipios (tabla 6).

Una de las subregiones más grandes es la de Bogotá, que involucra 14 municipios todos del departamento de Cundinamarca; mientras las más pequeñas es la de Fonseca que está junto a otros 6 municipios de La Guajira.

Tabla 6. *Tamaño de las subregiones*

| # subregión | Municipios por | Frecuencia | Porcentaje | Acumulado | # Subregiones |
|-------------|----------------|------------|------------|-----------|---------------|
| 7 | | 7 | 0.63 | 0.63 | 1 |
| 8 | | 8 | 0.71 | 1.34 | 1 |
| 9 | | 54 | 4.82 | 6.16 | 6 |
| 10 | | 180 | 16.07 | 22.23 | 18 |

| | | | | |
|--------------|-------------|---------------|--------|-----|
| 11 | 286 | 25.54 | 47.77 | 26 |
| 12 | 480 | 42.86 | 90.63 | 40 |
| 13 | 91 | 8.13 | 98.75 | 7 |
| 14 | 14 | 1.25 | 100.00 | 1 |
| Total | 1120 | 100.00 | | 100 |

Para efectos ilustrativos se pueden comparar el resultado de la subregionalización con otro ejercicio de relaciones funcionales producido con anterioridad por el DNP como es el ejercicio del Sistema de Ciudades. En la tabla siguiente se puede apreciar que, de las 18 aglomeraciones, el 56% (diez aglomeraciones) quedan integralmente incorporadas en una misma subregión (lo que es un porcentaje muy elevado teniendo en cuenta que la subregionalización incorpora muchas más variables y de diferente naturaleza que la conmutación laboral y que su forma de agregación es diferente), mientras otras 8 quedan en 2 o más subregiones.

Tabla 7. *Subregionalización y el sistema de ciudades*

| SdC | pExhaustive |
|---------------|--------------------|
| Duitama | 1 |
| Pereira | 1 |
| Girardot | 1 |
| Sogamoso | 1 |
| Pasto | 1 |
| Villavicencio | 1 |
| Tuluá | 1 |
| Bucaramanga | 1 |
| Armenia | 1 |
| Cúcuta | 1 |
| Rionegro | 2 |
| Cartagena | 2 |
| Manizales | 2 |
| Tunja | 2 |
| Cali | 3 |
| Medellín | 3 |
| Barranquilla | 4 |
| Bogotá, D.C. | 8 |

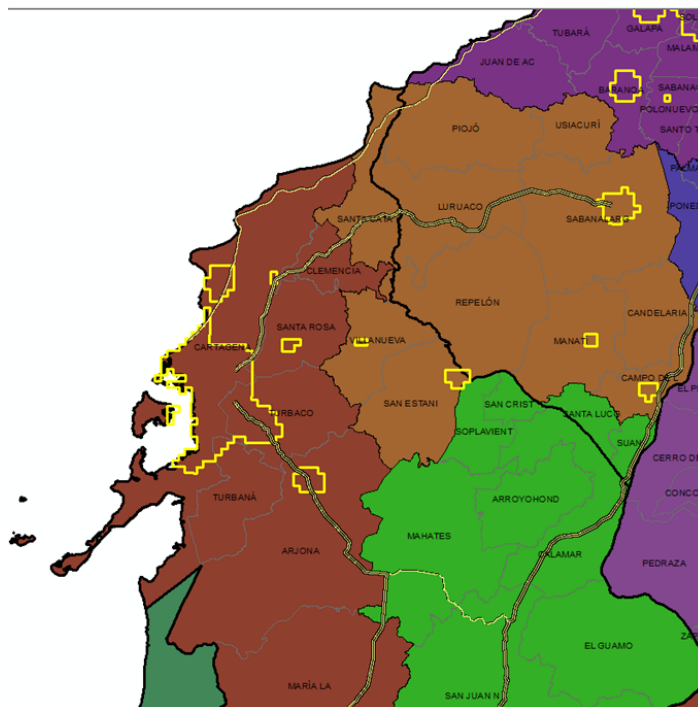
Tomaremos el caso del Sistema de ciudades como ilustración de lo que puede ser el proceso de revisión y validación del ejercicio resultante de la subregionalización. Este ejercicio nos permite en un número reducido de casos (8 aglomeraciones), entender la lógica del proceso y generar un procedimiento para la revisión y posible ajuste de sus resultados preliminares.

Con la revisión de 8 territorios, que corresponden con las aglomeraciones que rompe la subregionalización podemos identificar y proponer un procedimiento de revisión y ajustes a la propuesta. Para ello se supone que lo que buscamos es que la subregionalización rompa lo menos posible el sistema de ciudades y que queremos entender las razones por las que lo rompe y realizar algunos ajustes, para ello se propondrán los siguientes escenarios.

- i) El mover un municipio de una subregión a otra, mantiene integrado el sistema de ciudades y adicionalmente produce una mejora en la función objetivo.
- ii) El mover un municipio de una subregión a otra no mejora la función objetivo, pero la desmejora es tolerable, frente lo que implica romper algo como las áreas metropolitanas formalmente establecidas.
- iii) Las subregiones capturan interdependencias territoriales, pero podrían integrarse en una sola.
- iv) La separación producida tiene explicación y sentido dadas las variables incorporadas y la separación captura las realidades del territorio.

Dentro del primer caso podríamos encontrar, por ejemplo, la aglomeración de Cartagena, que en la solución inicial está separada en dos subregiones como se aprecia en la Figura 16, dejando 6 de los 7 municipios de la aglomeración en una sub-región y a Villanueva en otra.

Figura 15. Subregionalización inicial aglomeración de Cartagena



Lo que se hace es explorar lo que implicaría para la función objetivo mover a Villanueva a la subregión de Cartagena para que quede unida toda la aglomeración. Para esos efectos se calcula cuánto aporta a la función objetivo, tanto en el componente de interdependencia, como en el de influencia, la subregión 64 tal como está (13,58 en la tabla 8) y se compara con cuanto aportaría si estuviera en la subregión 34 (13,12 en la tabla 8). De esa forma podemos comprobar que ese movimiento produce una mejora en la función objetivo que no es capturada por el modelo inicial.

Tabla 8. Caso de ajuste aglomeración Cartagena

| Municipio_i | pExhaustive | Municipio_j | DIJ_balanced | cij_def | Municipio_i | pExhaustive | Municipio_j | DIJ_balanced | cij_def |
|-------------|-------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|----------------------|------------------|-------------------|
| Villanueva | 64 | Sabanalarga | 0,98980325 | 0,4569571 | Villanueva | 34 | Turbaná | 0,9546926 | 0,2465556 |
| Villanueva | 64 | Santa Catalina | 0,91899687 | 0,2390486 | Villanueva | 34 | Turbaco | 0,94248456 | 0,1777883 |
| Villanueva | 64 | Luruaco | 0,94192761 | 0,3430764 | Villanueva | 34 | María la Baja | 0,97921181 | 0,409737 |
| Villanueva | 64 | Candelaria | 0,9958263 | 0,4578079 | Villanueva | 34 | El Carmen de Bolívar | 0,95097661 | 0,5598905 |
| Villanueva | 64 | San Estanislao | 0,97938985 | 0,1165995 | Villanueva | 34 | Cartagena | 0,63434726 | 0,165276 |
| Villanueva | 64 | Piojó | 0,96317774 | 0,4553634 | Villanueva | 34 | Clemencia | 0,92253262 | 0,2051528 |
| Villanueva | 64 | Campo de la Cruz | 0,98731172 | 0,4160532 | Villanueva | 34 | Zambrano | 0,97947478 | 0,8436528 |
| Villanueva | 64 | Manatí | 0,98478508 | 0,3642894 | Villanueva | 34 | Santa Rosa del Norte | 0,95440036 | 0,0825579 |
| Villanueva | 64 | Repelón | 0,98115557 | 0,5027824 | Villanueva | 34 | Tenerife | 0,97921181 | 0,9481944 |
| Villanueva | 64 | Usiacurí | 0,97711009 | 0,5096852 | Villanueva | 34 | Arjona | 0,94385964 | 0,2414562 |
| | | TOTAL | 9,719 | 3,862 | | | TOTAL | 9,241 | 3,880 |
| | | PROMEDIO | 0,97194841 | 0,70212056 | | | PROMEDIO | 0,9241192 | 0,38802615 |
| | | | | 13,581 | | | | | 13,121 |

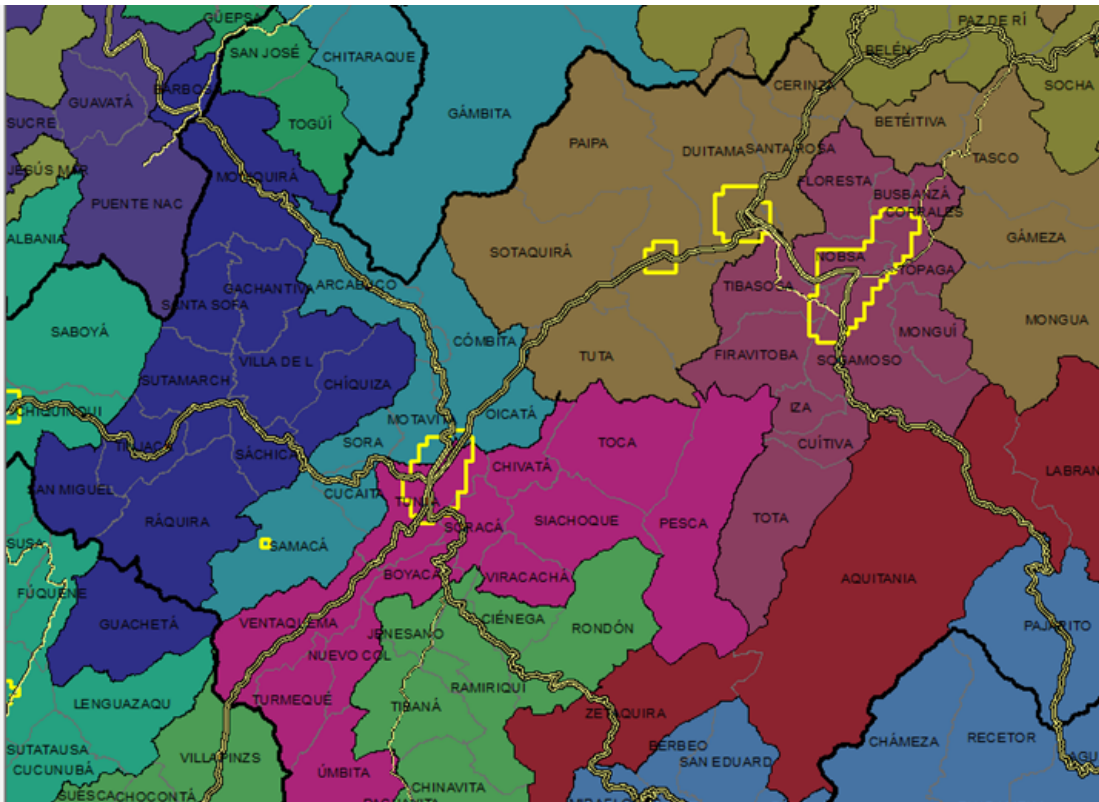
Lo mismo ocurre, con el caso de la aglomeración de Manizales que también está separada por dos subregiones: Manizales en una sub-región y Villamaría en otra. En este caso, también

mover a Villamaría de la subregión 92 a la subregión 5, produciría una mejora en la función objetivo y permitiría que toda la aglomeración quedara en la misma subregión.

Otro caso es el de la aglomeración de Tunja que está compuesta por 5 municipios y que se encuentra separada en dos subregiones donde Tunja y Chivatá junto con otros 10 municipios de Boyacá en la subregión 36, mientras que Cómbita, Motavita y Oicatá se encuentra en la subregión 89 con otros 6 municipios de Boyacá y 4 municipios de Santander.

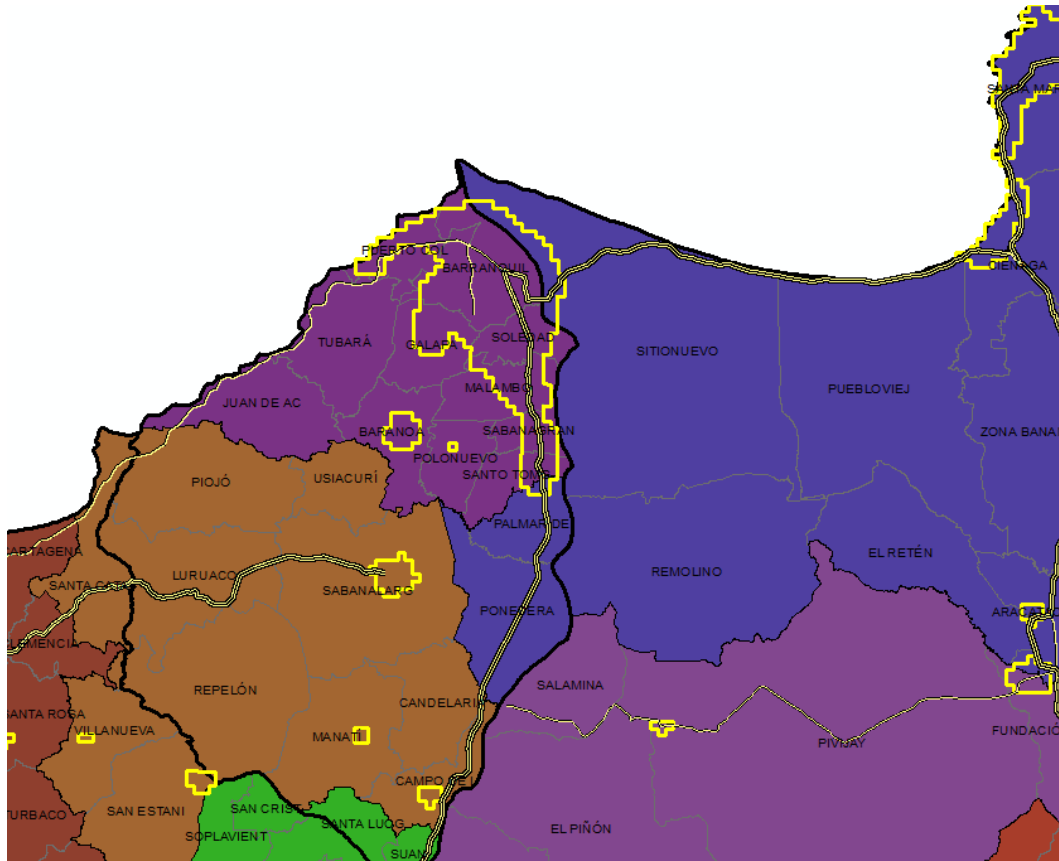
En este caso, mover a los municipios de Cómbita, Motavita y Oicatá de la subregión 89 a la 36, donde se encuentra el resto de la aglomeración, produce en los tres casos una mejora significativa en la función objetivo. Sin embargo, ese cambio de los tres municipios a la subregión de Tunja producen una ruptura de la continuidad geográfica de la sub-región 89 (ver figura 17), por lo que sería necesario también agregar a los municipios de Sora, Samacá y Cucaitá, a otra subregión. En ese caso, se compara la función objetivo de pasar esos municipios a las únicas dos subregiones que garantizarían la continuidad espacial: la subregión 36 (de Tunja) y la subregión 1 que incluye a Villa de Leyva, Sáchica y Ráquira, etc. Al final, en los tres casos, los municipios se agregan a la subregión 1 donde la mejora en la función objetivo es más significativa, y donde, de nuevo, se garantiza la continuidad geográfica de las sub-regiones.

Figura 16. Subregionalización inicial aglomeración de Tunja



En el caso de Barranquilla, la aglomeración que está compuesta por 16 municipios queda fragmentada en 4 sub-regiones, donde 10 municipios, incluido Barranquilla quedan en la sub-región 77, Sabanalarga y Usiacurí quedan en la sub-región 64, San Cristóbal que hace parte del municipio de Bolívar en la sub-región 0 y los municipios de Ponedera, Palmar de Varela y Sitionuevo en la sub-región 11.

Figura 18. Subregionalización inicial aglomeración de Barranquilla

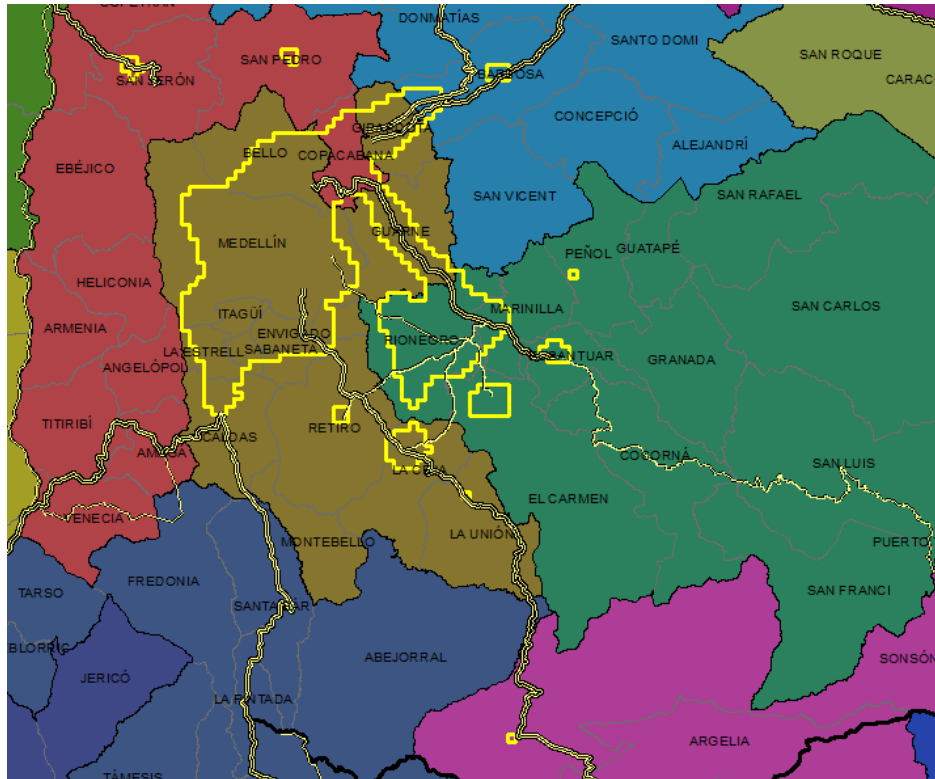


Con el mismo criterio de análisis de la función objetivo, se estudiaron los posibles cambios para agregar municipios a la sub-región 77 donde está el grueso de la aglomeración y donde están todos los municipios del Área Metropolitana. De esa forma en la sub-región 77 se agregan a los municipios de Ponedera y Palmar de Varela (mejora FO), dejándola con 12 de las 16 municipios de la aglomeración. Sitionuevo sigue quedando en otra sub-región, al igual que Sabanalarga y Usiacurí en cuyos casos mover a dichos municipios produciría una desmejora de la función objetivo, claramente tienen más relaciones funcionales con los municipios con los que se encuentran que con Barranquilla y los del resto de la aglomeración.

En el caso de las aglomeraciones de Medellín y Rionegro en la sub-región 14 se ubican 8 municipios de la aglomeración de Medellín, incluida la capital, Guarne y La Ceja que hacen parte de la aglomeración de Rionegro y otros tres municipios de Antioquia. Barbosa queda en la sub-región 18 con otros 10 municipios del departamento y Copacabana en la sub-región 95

con otros 11 municipios. Rionegro y otros dos municipios de su aglomeración en la sub-región 29.

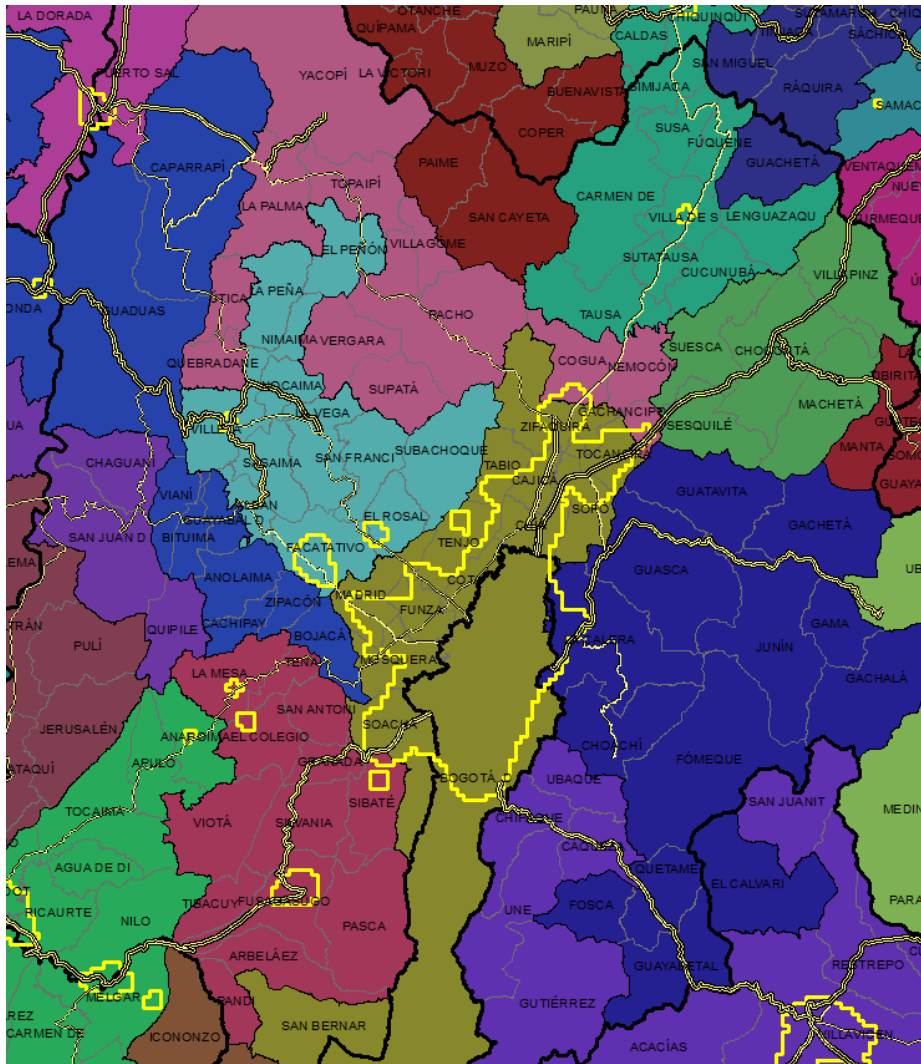
Figura 19. Subregionalización inicial aglomeración de Medellín



En el caso de la aglomeración de Medellín se agregó Copacabana, el cambio produce una mejora en la función objetivo, pero no Barbosa, se produce una desmejora significativa de la función objetivo dado que Barbosa tienen relaciones funcionales significativas con municipios como Santo Domingo, Don Matías y Entreríos, y muchas menos con los municipios de la aglomeración de Medellín, salvo con Medellín Bello y Girardota, pero insignificantes con los demás.

En el caso de la aglomeración de Bogotá además de ser la más grande del sistema de ciudades (está conformada por 23 municipios) es la más fragmentada de todas (esos 23 municipios están en 8 sub-regiones diferentes. Bogotá junto con 12 municipios de la aglomeración (Soacha, Madrid, Mosquera, Cota, Funza y Chía entre otros) hacen parte de la sub-región 54; La Calera y Guatavita están en la sub-región 73 junto con otros 11 municipios, al igual que Facatativá que hace parte de la sub-región 75, Bojacá de la sub-región 98, Tausa y Sutatausa con la sub-región 63, Sesquilé de la 56, Sibaté de la 3 y Cogua, Gachancipa y Nemocón de la 50.

Figura 20. Subregionalización inicial aglomeración de Bogotá

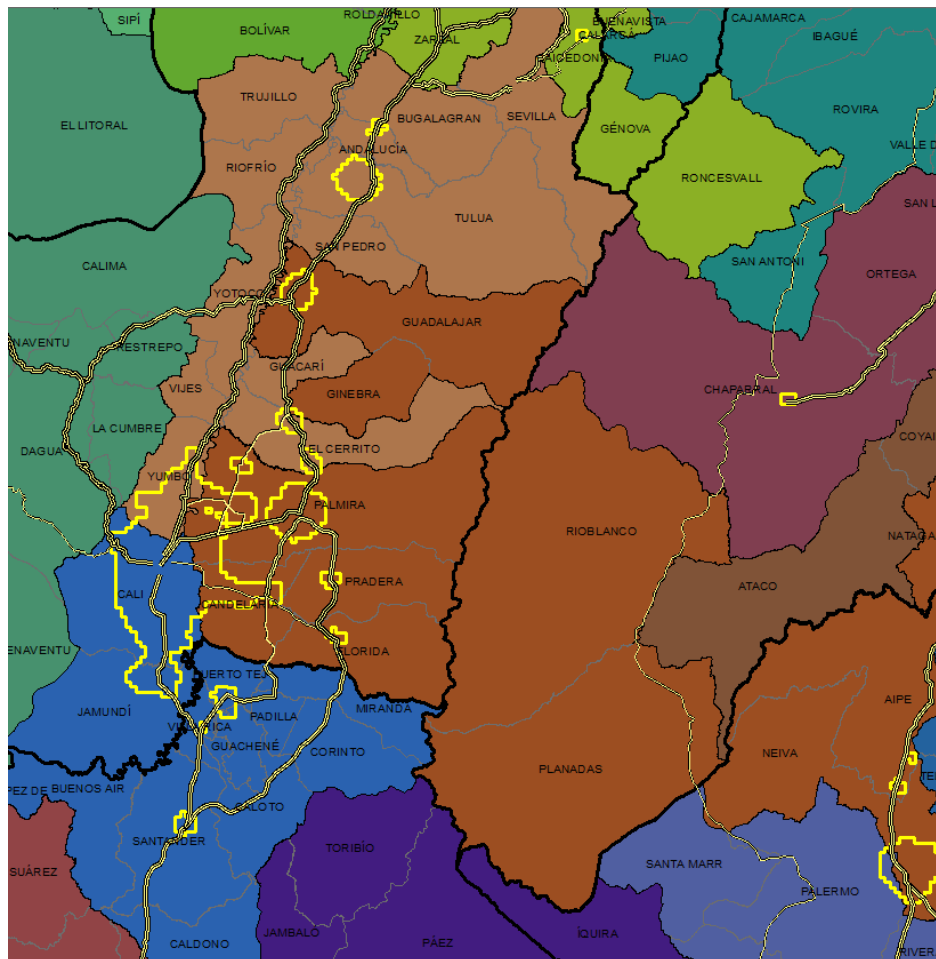


Con el mismo proceso, se agregan a la sub-región 54 de Bogotá los municipios de Cogua, Gachancipá, Nemocón, Guatavita y La Calera, todos ellos mejorando la función objetivo y dejando en una sola sub-región 17 de los 23 municipios de la aglomeración. Los otros municipios no se agregan en esa sub-región no solamente porque no mejoran la función objetivo, sino porque son municipios que tienen fuertes relaciones funcionales con los municipios con los que comparten su región, sobre todo en casos como el de Facatativá. Así en otras sub-regiones quedan: 1) Sibaté, 2) Bojacá y 3) Facatativá 4) Tausa, Sutatausa y 5) Sesquilé.

El caso de la aglomeración de Cali es quizás el más complejo entre todas las aglomeraciones del Sistema de ciudades. Los resultados del modelo heurístico separan los municipios de la aglomeración en 3 subregiones distintas. La subregión 9, de 12 municipios, donde se encuentra Cali junto los municipios que se encuentran al sur de la ciudad como Jamundí, Villa Rica, Puerto Tejada o Padilla, y otros municipios del Norte del Cauca como Corinto, Caloto,

Santander de Quilichao entre otros. La subregión 97, de 12 municipios, donde Vijes y Yumbo se unen a la aglomeración de Tuluá (Tuluá y Andalucía y a otros municipios como San Pedro, Sevilla o Trujillo). Por último, la subregión de 62, también de 12 municipios, que incluye a Palmira, Buga y otros 3 municipios del Valle del Cauca y los une con dos municipios del sur de Tolima (Planadas y Rioblanco), dos de Huila (Neiva y Aipe) y Natagaima y Prado más al norte en el límite este del departamento del Tolima. Constituida así es muy difícil argumentar ésta última como una subregión funcional, pues, por ejemplificar, Planadas queda a más de 10 horas de Pradera.

Figura 21. Subregionalización inicial aglomeración de Cali



Partiendo de lo anterior, se reconfigura la subregión 62 en varios pasos, primero uniendo Natagaima y Prado a la subregión 81, donde se mejora notablemente la Función Objetivo, con otros 12 municipios que incluyen Ataco, Coyaima y Purificación. Posteriormente, se unen los municipios de Neiva y Aipe con la subregión 61 de 11 municipios que incluye a Gigante, Palermo, Pital, etc. Estos dos cambios reducen la función objetivo aun cuando la subregión 62 (ya sin Natagaima y Prado) cuenta con 10 elementos, 1 menos que la subregión 81. El

mismo procedimiento se lleva a cabo con Planadas y Rioblanco que se unen a la subregión 94 con Chaparral, y otros 11 municipios. En este caso la función objetivo no se reduce, puesto que se compara una subregión de origen de 8 elementos (sin Planadas ni Rioblanco, y sin los ya excluidos, Neiva, Aipe, Natagaima y Prado), con una subregión potencial de destino de 12 elementos. Así la decisión de cambiar los municipios de subregión surge porque, no en suma sino en promedio, las relaciones con la nueva subregión son más fuertes (más cercanas a 0), principalmente con Chaparral y Ortega, y porque la región es mucho más compacta en términos de los cij, es decir, en términos del tiempo de viaje entre sus elementos, algo que sin duda ayudaría a su planificación conjunta.

Hechos los ajustes de la subregión 62 fuera del Valle del Cauca, ajustamos las subregiones 9, 97 y lo restante de la subregión 62 de la siguiente manera. Primero los municipios del Cerrito y Guacarí se unen a lo restante de la subregión 62, puesto que la función objetivo mejora en términos de suma y promedio, teniendo en cuenta que dicha subregión para este momento solo incluye a los municipios de Buga, Candelaria, Ginebra, Palmira, Pradera y Florida. Yumbo, se une a la subregión 9 de Cali, en la que fue la decisión más discrecional, pues a pesar de que la Función objetivo no mejora en términos de suma ni de promedio, hace parte de la misma mancha urbana (ver mapa) de Cali, y difícilmente se podrían desligar. Por otra parte, Vijes, que también hace parte del Sistema de Ciudades de Cali, sí permanece con su subregión con la que comparte relaciones más fuertes.

De esa forma, la propuesta de subregionalización de Colombia queda compuesta por las mismas 100 subregiones, pero donde cambia la composición de algunas por los ajustes realizados. Por ejemplo, en la composición de subregiones por departamento.

Tabla 9. *Subregiones y límites departamentales final*

| Presencia en departamentos | # Subregiones | Porcentaje | Acumulado |
|----------------------------|---------------|---------------|-----------|
| 1 | 30 | 30 | 30 |
| 2 | 47 | 47 | 77 |
| 3 | 18 | 18 | 95 |
| 4 | 4 | 4 | 99 |
| 5 | 1 | 1 | 100 |
| Total | 100 | 100.00 | |

Se producen también algunos pequeños cambios en la distribución del tamaño de las subregiones, tal como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 10. *Tamaño de las subregiones final*

| # Municipios por subregión | Frecuencia | Porcentaje | Acumulado | # Subregiones |
|----------------------------|-------------|------------|-----------|---------------|
| 6 | 6 | 0.54 | 0.54 | 1 |
| 7 | 7 | 0.63 | 1.16 | 1 |
| 8 | 24 | 2.14 | 3.30 | 3 |
| 9 | 72 | 6.43 | 9.73 | 8 |
| 10 | 170 | 15.18 | 24.91 | 17 |
| 11 | 297 | 26.52 | 51.43 | 27 |
| 12 | 336 | 30.00 | 81.43 | 28 |
| 13 | 117 | 10.45 | 91.88 | 9 |
| 14 | 42 | 3.75 | 95.63 | 3 |
| 15 | 30 | 2.68 | 98.30 | 2 |
| 19 | 19 | 1.70 | 100.00 | 1 |
| Total | 1120 | 100 | | 100 |

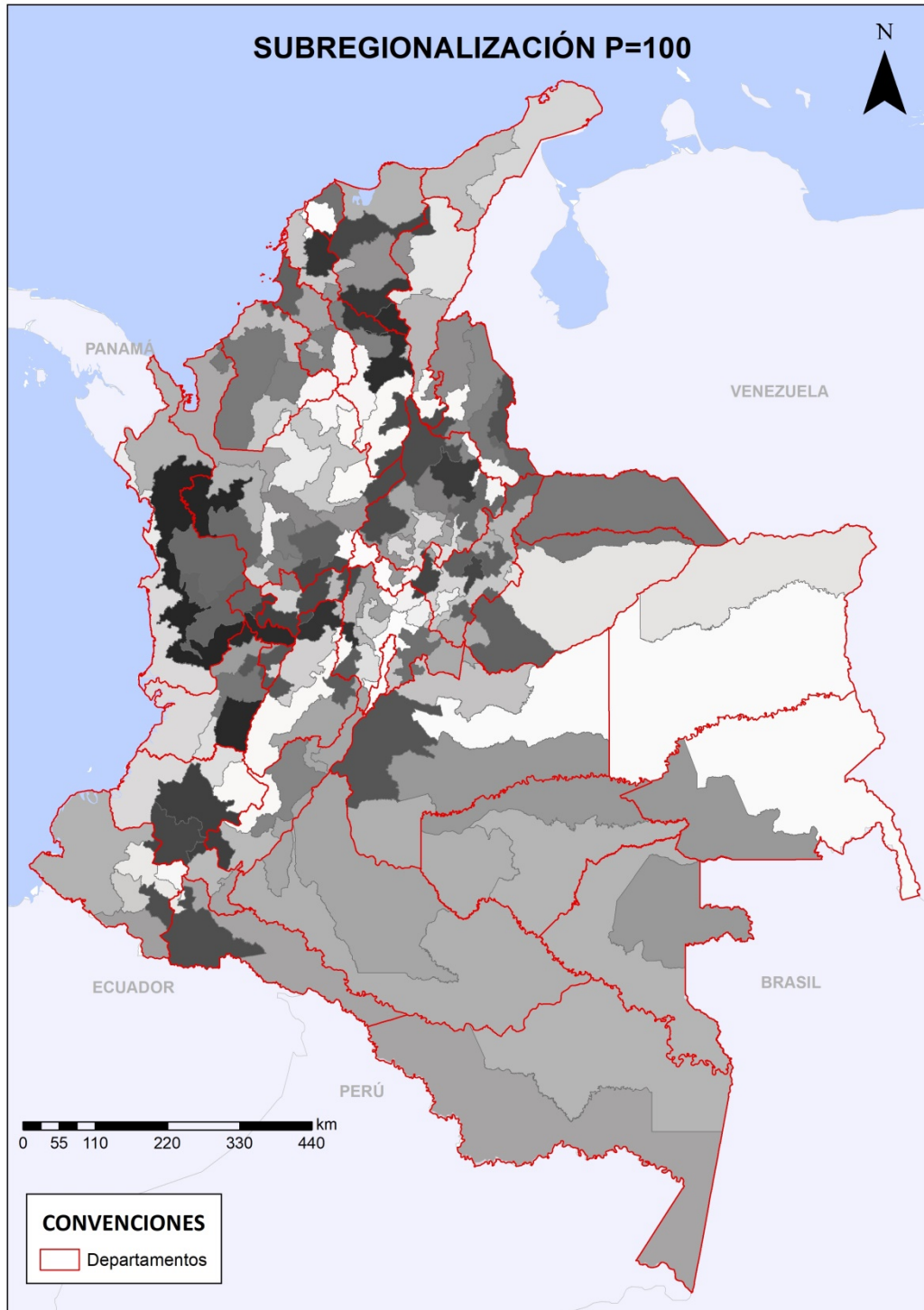
Al hacer los ajustes adicionalmente las aglomeraciones del sistema de ciudades quedan mucho más compactas, 13 de ellas quedan en la misma sub-región y 5 de ellas, las más grandes, fragmentadas en 2 o más sub-regiones.

Tabla 11. *Sub-regionalización y sistema de ciudades final*

| SdC | Sub-regiones |
|---------------|--------------|
| Duitama | 1 |
| Pereira | 1 |
| Girardot | 1 |
| Sogamoso | 1 |
| Pasto | 1 |
| Villavicencio | 1 |
| Tuluá | 1 |
| Bucaramanga | 1 |
| Armenia | 1 |
| Cúcuta | 1 |
| Cartagena | 1 |
| Manizales | 1 |
| Tunja | 1 |
| Rionegro | 2 |
| Medellín | 2 |
| Cali | 3 |
| Barranquilla | 4 |

El mapa general cambia ligeramente y se puede apreciar en la siguiente figura

Figura 22. Mapa de subregiones propuesta



Para facilitar el análisis del detalle de las subregiones en el anexo se encuentran los mapas de cada uno de los departamentos del país, con la identificación de los nodos y su jerarquía

y de las vías 4G. Hay que tener en cuenta que en los mapas de los departamentos se encuentran todas las subregiones que involucran al menos un municipio de ese departamento.

Finalmente, también para efectos ilustrativos de la propuesta de subregiones funcionales, se compara en dos departamentos (Santander y Boyacá) la subregionalización resultante con las provincias históricas existentes.

En ambos casos (Figura 22 y 23), se puede apreciar la importancia de que la subregionalización permita en el marco de las relaciones funcionales, superar los límites político-administrativos existentes por los departamentos, las cuales son constantemente superadas por las realidades territoriales.

Mientras las provincias de Santander y Boyacá son 6 y 13 respectivamente, siendo este último uno de los departamentos del país donde más se comparten subregiones con otros departamentos, lo que tienen que ver tanto con su localización central, como con la forma misma del departamento.

Se aprecia que en términos generales las subregiones tienen una configuración bien diferente al de las provincias, más en el caso de Boyacá que de Santander, donde se encuentran más coincidencias, como en provincias como la de Vélez.

Figura 23. Subregiones y provincias de Santander

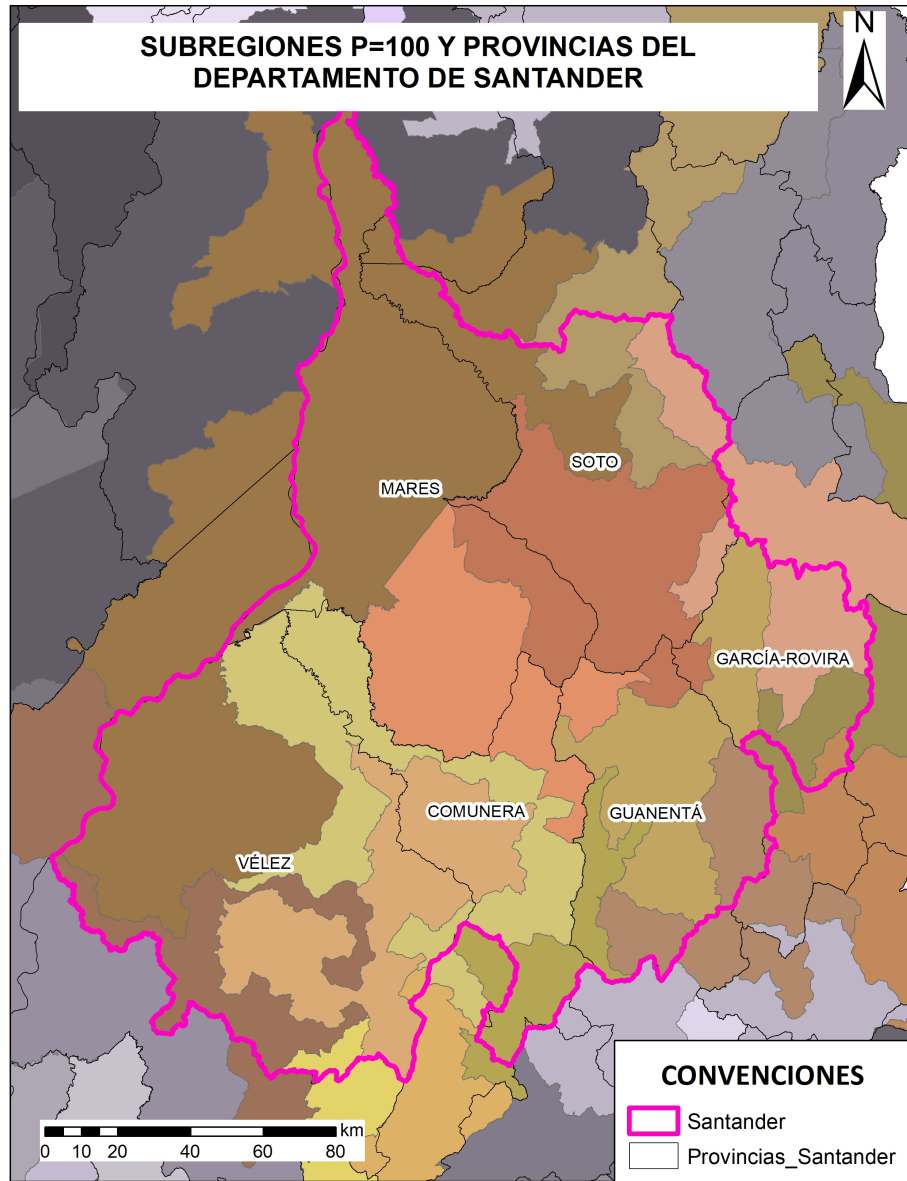
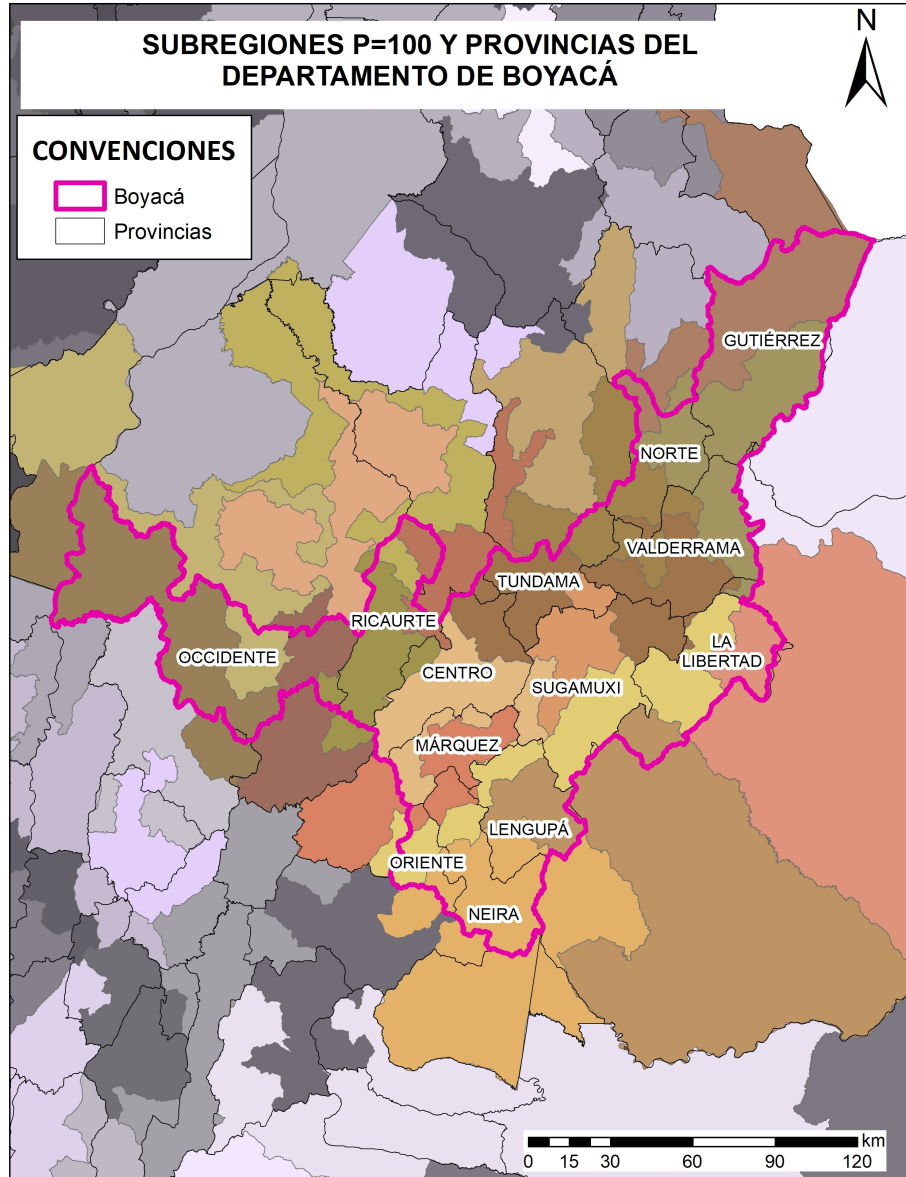


Figura 23. Subregiones y provincias de Boyacá



V. BIBLIOGRAFÍA

- Acemoglu, D., García, C., & Robinson, J. (2015). State Capacity and Development: A Network approach. *American Economic Review*, 2364-2409.
- Ball, R. M. (1980). The Use and Definition of Travel-To-Work Areas in Great Britain: Some Problems. *Regional Studies*, vol. 14, 125-39.
- Berdegúe, J. J. (2011). Territorios funcionales en Chile. . *Documento de Trabajo N102. Rimisp*.
- Boix, R., & Veneri, P. (2009). *Metropolitan Areas in Spain and Italy*. Barcelona: Barcelona Institute of Regional and Metropolitan Studies .
- Casado-Díaz, J. M., & Coombes, M. (2011). *The Delineation of 21st century Local Labour areas: a critical review and research agenda*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- Christiaensen, L. (2016). Secondary Towns and Poverty Reduction: Refocusing the Urbanization Agenda. *Policy Research Working Paper 7895*.
- Cörvers, F., Hensen, M., & Bongaerts, D. (2006). *The Delimitation and Coherence of Functional and Administrative Regions*. Research Centre for Education and the Labour Market, Maastricht.
- Duque, A. R. (2012). The Max-P-Regiones Problem. *Journal of Regional Science Vol 52. No. 3* , 397-419.
- Duque, C. M. (2011). The p-Regions Problem. *Geographical Analysis*, 104-126.
- Geilfus, F. (1998). *80 Herramientas para el desarrollo participativo*. San Salvador: IICA-GTZ.
- Gilbert, A. (1988). The new regional Geography in English and. *Progress in Human Geography*, 208-228.
- Instituto de Estudios Urbanos. (2016). *Revisión y validación de la metodología de medición de desempeño integral municipal*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, DNP.
- Krugman, P. F. (2000). *Economía espacial: las ciudades, las regiones y el comercio internacional*. Barcelona.: Editorial Ariel,.
- Mateo Rodríguez, J. M. (2016). *La Región como categoría geográfica*. Morelia, México: CIGA UNAM.

- Munro, A., Alasia, A., & Bollman, R. D. (2011). *Self-contained labour areas: A proposed delineation and classification by degree of rurality*. Rural and Small Town Canada Analysis Bulletin, Statistics Canada.
- OECD. (2013). *OECD Regions at a glance 2013*. OECD publishing .
- ORTEGA VALCÁRCEL, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía*. Barcelona: Ariel.
- Ramírez, J. M., & Satizábal, S. (2016). *Análisis de brechas y subregiones - municipios priorizados*. Bogotá: Rimisp.
- Ramírez, J. M., Bedoya, J. G., & Díaz, Y. (2017). Decentralization in Colombia: Searching for Social Equity in a Bumpy Economic Geography. *World Development*.
- Rojas, F. (2017). *Categorización de Municipios según capacidades para el post-conflicto*. Bogotá D.C.
- UN HABITAT. (2018). *IMPLEMENTING THE NEW URBAN AGENDA*. Nairobi.